



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria



Institut für Fahrzeugantriebe  
& Automobiltechnik

Institut für Fahrzeugantriebe  
und Automobiltechnik

Getreidemarkt 9  
A-1060 Wien  
<http://www.ifa.tuwien.ac.at>

Univ.-Prof. Dr. Dipl.-Ing.  
Bernhard GERINGER

Institutsvorstand  
tel.: +43-1/ 58801-31500  
[bernhard.geringer@tuwien.ac.at](mailto:bernhard.geringer@tuwien.ac.at)

## Bericht

### Studie: Technologische Analyse und Veränderung der Komponentenkosten elektrifizierter Antriebssysteme bis 2035

Dipl.-Ing. Daniel Wuketich

Dipl.-Ing. Gregor Lischka

Univ. Prof. Dr. Bernhard Geringer

Dipl.-Ing. Dr. Josef Graf

Co-Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. Werner Tober

Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bruckmüller

Auftraggeber: Fachverband der Fahrzeugindustrie Österreichs  
Dieser Bericht besteht aus 56 Seiten.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>3</b>
<b>2 Methodisches Vorgehen</b>	<b>7</b>
<b>3 Stückzahlenszenarien</b>	<b>11</b>
<b>4 Referenzfahrzeuge</b>	<b>19</b>
<b>5 Komponentenherstellkosten</b>	<b>24</b>
<b>6 Automatisiertes Fahren</b>	<b>28</b>
<b>7 Sonderfahrzeuge</b>	<b>32</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>36</b>
<b>9 Ausblick</b>	<b>39</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>40</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufteilung der Treibhausgasemission nach Sektoren in EU-27 . . . . .	3
Abbildung 2	CO <sub>2</sub> -Ausstoß von PKW in Österreich . . . . .	4
Abbildung 3	Umsatz der österreichischen Automobilindustrie . . . . .	5
Abbildung 4	Methodik . . . . .	8
Abbildung 5	PKW und leichte Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (global)	11
Abbildung 6	PKW und leichte Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (EU)	13
Abbildung 7	Mittlere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (global) . . . . .	13
Abbildung 8	Mittlere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (EU) . . . . .	14
Abbildung 9	Schwere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (global) . . . . .	15
Abbildung 10	Schwere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (EU) . . . . .	16
Abbildung 11	Entwicklung des Fahrzeugbestands nach Antriebsart (AT) . . . . .	17
Abbildung 12	Energiebedarf nach Antriebsart (AT) . . . . .	18
Abbildung 13	Kostenentwicklung von PKW und LNF (nicht angepasst) . . . . .	24
Abbildung 14	Kostenentwicklung von PKW und LNF (angepasst) . . . . .	25
Abbildung 15	Kostenentwicklung mittlerer Nutzfahrzeuge . . . . .	26
Abbildung 16	Kostenentwicklung schwerer Nutzfahrzeuge . . . . .	27
Abbildung 17	Entwicklung des PKW-Automatisierungsgrades bei Neuzulassungen . . . . .	31
Abbildung 18	Globale Verkaufszahlen von Traktoren zwischen 2015 und 2029	33
Abbildung 19	Globale Verkaufsprognose für Motorräder über 50cm <sup>3</sup> . . . . .	35

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Europäische Richtlinie für Fahrzeugklassen . . . . .	9
Tabelle 2	Fahrzeugklassen für zweirädrige KFZ . . . . .	10
Tabelle 3	Gewählte Referenzfahrzeuge für PKW & N1 . . . . .	19
Tabelle 4	Spezifikationsanpassungen über die Jahre für PKW und N1. . . . .	20
Tabelle 5	Gewählte Referenzfahrzeuge für N2 . . . . .	21
Tabelle 6	Spezifikationsanpassungen über die Jahre für mittlere NFZ . . . . .	22
Tabelle 7	Gewählte Referenzfahrzeuge für N3 . . . . .	22
Tabelle 8	Spezifikationsanpassungen über die Jahre für schwere NFZ . . . . .	23
Tabelle 9	Stufen der Fahrautomatisierung nach SAE . . . . .	28

---

## Abkürzungen

<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle bzw. batterieelektrisches Fahrzeug
<b>BZ</b>	Brennstoffzellenstack
<b>CO</b>	Kohlenmonoxid
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>FCEV</b>	Fuel Cell Electric Vehicle bzw. Brennstoffzellenfahrzeug
<b>H<sub>2</sub></b>	Wasserstoff
<b>HC</b>	unverbrannte Kohlenwasserstoffe
<b>HEV</b>	Hybrid Electric Vehicle bzw. Hybridfahrzeug
<b>KFZ</b>	Kraftfahrzeuge
<b>KI</b>	Künstliche Intelligenz
<b>LNF</b>	leichte Nutzfahrzeuge
<b>NFZ</b>	Nutzfahrzeug
<b>NO<sub>x</sub></b>	Stickoxide
<b>PHEV</b>	Plugin Hybrid Electric Vehicle bzw. Plug-in-Hybridfahrzeug
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>PM</b>	Particulate Matter bzw. Feinstaub
<b>TCO</b>	Total Cost of Ownership bzw. Gesamtkosten des Betriebs
<b>VKM</b>	Verbrennungskraftmaschine

## Kurzfassung

Ziel dieser Studie ist es einen Einblick in die mögliche Entwicklung der österreichischen Fahrzeugindustrie im Rahmen der globalen Mobilitätswende in Richtung alternative Antriebe zu schaffen. Dies wird durch eine Betrachtung der Herstellungskosten- und Stückzahlenentwicklung bis 2035 für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge bewerkstelligt. Zusätzlich soll eine qualitative Abschätzung der Effekte hinsichtlich der aktuellen und zukünftigen Trends bei zweirädrigen Kraftfahrzeugen, Sonderfahrzeugen (Traktoren) sowie automatisierten Fahrens erfolgen.

Basis dieser Arbeit bildet die Methodik aus den Vorgängerstudien E-MAPP und E-MAPP 2. Eine Anpassung der Methodik erlaubte, zusätzlich zu den Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen, auch eine Abschätzung der Stückzahlen und Herstellungskosten für mittlere und schwere Nutzfahrzeuge. Die Ermittlung der Produktionsstückzahlen und Antriebsmixverteilungen für die einzelnen Fahrzeugklassen erfolgte anhand von Recherchen und Expertengesprächen. Mittels einer globalen Marktbetrachtung konnten Referenzfahrzeuge auf Basis der wichtigsten Fahrzeugparameter bestimmt werden, die als Bezugspunkte für die Kostenberechnung dienten. Recherchen der Stückzahlen und der Kosten wurden anhand der Expertengespräche verifiziert. Durch unabhängigen Studien und Entwicklungstätigkeiten von Herstellern konnten Aussagen zu zukünftigen Trends bei zweirädrigen Kraftfahrzeugen, Traktoren und automatisierten Fahrens getroffen werden.

Die Recherchen und Kalkulation haben ergeben, dass bis 2035 mit einem Anstieg der Verkaufszahlen von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen zu rechnen ist. Der Anteil elektrifizierter Fahrzeuge wird sich insbesondere bei den Personenkraftwagen zukünftig stark erhöhen, während bei Nutzfahrzeugen ein langsamerer Hochlauf erwartet wird. Hinsichtlich der Herstellungskosten von Fahrzeugen mit klassischen Verbrennungskraftmaschinen ist mit einer geringfügigen Kostensteigerung zu rechnen, wohingegen insbesondere Antriebe bei batterieelektrischen Fahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen ein hohes Potential zur Senkung der Produktionskosten bieten. Für die zukünftige Entwicklung von zweirädrigen Kraftfahrzeugen und Traktoren kann auf Grund der erst beginnenden Antriebswende noch keine klare Entwicklungsrichtung prognostiziert werden. Das automatisierte Fahren wird zuerst bei den Traktoren und Nutzfahrzeugen serienreif werden, da hier die Total Cost of Ownership (TCO) als treibender Faktor gilt. Bei den Personenkraftwagen wird eine längere Zeitspanne, bis zur Serienreife außerhalb des Premiumsegments, erwartet.

## Abstract

The goal of this study is to gain insight into the potential development of the Austrian automotive industry in regards to the mobility shift towards alternative powertrains. For this purpose the development of manufacturing costs and unit sales for passenger and commercial vehicles until 2035 will be determined. Additionally, a qualitative analysis of two wheel motor vehicles and agricultural tractors, as well as of automated driving, will be conducted.

The core of this study is the methodology, which has been used in the studies E-MAPP and E-MAPP 2. Previously, the methodology only considered passenger and light commercial vehicles, however, for this study it was expanded to include medium and heavy commercial vehicles. Future unit sales and powertrain distributions were determined through research and interviews with industry representatives. A view of the global vehicle market allowed to determine reference vehicles for each class based on the most important specifications, which served as starting points for determining the manufacturing costs. Both, distribution of powertrain and the manufacturing costs, were verified through interviews conducted with industry experts. To give a qualitative analysis of agricultural tractors and two wheel motor vehicles, independent studies as well as research and development activities by notable manufacturers in respective industries were used to gain an understand of developing trends in these industries.

Results have shown, that the unit sales are expected to increase for both, passenger and commercial vehicles. The share of electrified powertrains will rise significantly, especially in the passenger vehicle segment, whereas slower growth is expected on the commercial vehicle market. In regards to the manufacturing costs, internal combustion engines will presumably experience an increase in manufacturing expenses. Contrary to that, battery electric and fuel cell vehicles display great potential in reduction of manufacturing costs. The development direction of agricultural tractors and two wheel motor vehicles is, for the moment, uncertain. With total cost of ownership being a key factor for commercial vehicles, it is expected that automated driving will first be ready for mass production for commercial vehicles and agricultural tractors. Passenger vehicles in the premium segments will first be equipped with automated features, whereas a longer time frame is anticipated for vehicles on the mass market.

# 1 Einleitung und Motivation

## 1.1 Rolle der Elektromobilität für die Erreichung der Klimaziele

In den letzten Jahren ist das Klimaschutzbedürfnis zu einer wichtigen Agenda in der Europäischen Union (EU) geworden. Die EU gehört mit einem Anteil von 7,6 % der global produzierten Treibhausgasemissionen zum global dritt größten Produzenten im Jahr 2020 [1, 2]. Eine Aufteilung der in der EU-27 produzierten Emissionen nach ihren Sektoren zeigt auf, dass 15 % von Personenkraftwagen (PKW) (inkl. leichte Nutzfahrzeuge (LNF)) und 5 % von mittleren und schweren Nutzfahrzeug (NFZ) (inkl. Busse) produziert wurden [3]. 9 % werden weiteren Transportarten, wie Flugverkehr, zugeteilt (Abbildung 1). Dies bedeutet, dass in 2018 der gesamte Transportsektor 29 % und allein der Straßenverkehr für 20 % des Schadstoffausstoßes in der EU verantwortlich war.

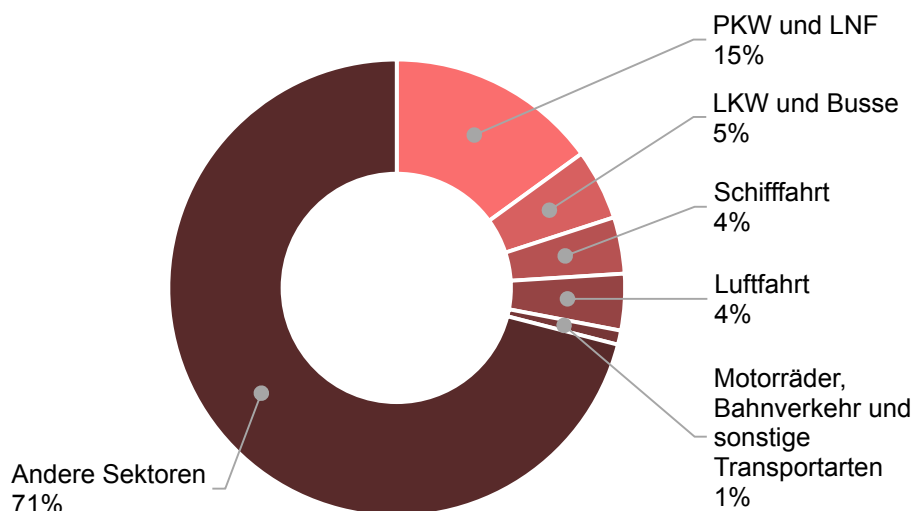


Abbildung 1: Aufteilung der Treibhausgasemission nach Sektoren in EU-27 [3]  
Anteile der jeweiligen Treibhausgasemissionen nach Transportart für 2018.

Eine historische Analyse zeigt auch, dass in allen Sektoren, bis auf den Transportsektor, eine Senkung des Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Ausstoßes verzeichnet werden konnte. In den unterschiedlichen Transportsektoren kam es teilweise sogar zu einem deutlichen Anstieg von Emissionen [4]. Dieser europäische Trend konnte auch in Österreich beobachtet werden. Messungen haben gezeigt, dass in Österreich von 1990 bis 2020 die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs um 75 % gestiegen sind, während in anderen Sektoren deutliche Reduzierungen erzielt werden konnten [5]. Auch die Landwirtschaft trägt mit 11 % einen beträchtlichen Anteil an Europas Treibhausgasproduktion bei [6]. Zweirädrige Kraftfahrzeuge haben mit weniger als 1 % einen geringen absoluten Anteil an den Treibhausgasemissionen,



dennoch haben sie in gewissen Bereichen höhere spezifischen Emissionen als PKW [7].

Die immer strenger werdenden Flottenverbrauchsgrenzen haben eine Weiterentwicklung des Antriebsstrang- und Abgasnachbehandlungssystems bewerkstelligt. Die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von neuzugelassenen PKW sind in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken. Mit Ende 2020 lag der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines neuzugelassenen PKW in Österreich bei 112,3 g CO<sub>2</sub>/km [8]. Nichtsdestotrotz lag Österreich im EU Feld über dem Durchschnitt von 108,2 g CO<sub>2</sub>/km und deutlich über dem für 2021 festgesetztem Ziel von 95 g CO<sub>2</sub>/km [9]. Obwohl spezifische Emissionen deutlich reduziert werden konnten, ist der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß für PKW gestiegen (Abbildung 2) [4]. Gleicher Trend wurde bei den schweren NFZ beobachtet. Die spezifischen Emissionen sind über die Jahre reduziert worden [10], aber die absolute Menge ist, aufgrund steigender Bestandszahlen und zunehmender Fahrleistungen, gestiegen [11].

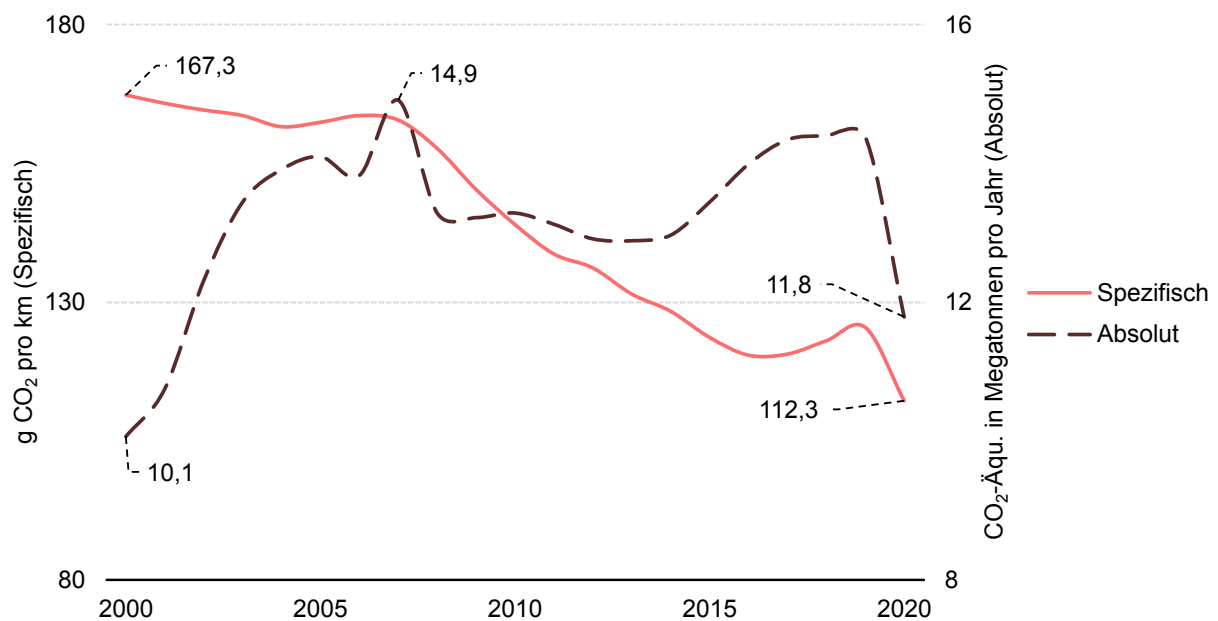


Abbildung 2: CO<sub>2</sub>-Ausstoß von PKWs in Österreich [4, 8]

Vergleich des spezifischen und absoluten CO<sub>2</sub>-Ausstoß von PKW in Österreich über die Jahre.

Obwohl jetzige Ziele für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (N1) noch nicht erreicht worden sind, gibt es schon Regelungen die vorsehen, dass für diese Klassen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2025 um 15 % gegenüber dem Ziel von 2021 reduziert wird. Bis 2030 sollen die Emissionen um 37,5 % für PKW und 31 % für LNF gegenüber dem für 2021 festgesetztem Ziel gesenkt werden [12]. Auch für mittlere und schwere NFZ gibt es Gesetzesentwürfe die vorsehen, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß für mittlere und schweren NFZ bis 2025 um 15 % und bis 2030 um 30 % bezogen auf das Niveau von 2005 reduziert wird [13].

## 1.2 Wert der Automobilindustrie für Österreich

Eine Betrachtung der österreichischen Fahrzeugindustrie zeigt auf, dass allein im Geschäftsjahr 2018 die direkten Effekte dieser Industrie 6,7 % des Bruttoproduktionswertes der gesamten Volkswirtschaft generierten. Werden die indirekten inkludiert, wächst dieser Prozentsatz auf 10,3 % (siehe Abbildung 3) [14]. Des Weiteren kommt der Fahrzeugindustrie eine besondere Rolle zu, da sich diese Landschaft hauptsächlich aus Zulieferern zusammensetzt. 87 % der Erzeugnisse werden exportiert und mehr als die Hälfte der Exporte ist für die deutsche Automobilindustrie bestimmt [15]. Die Zahl der direkt und indirekt in dieser Industrie beschäftigten Personen lag in den Jahren 2020 und 2021 bei rund 42.000 und 350.000 [16].

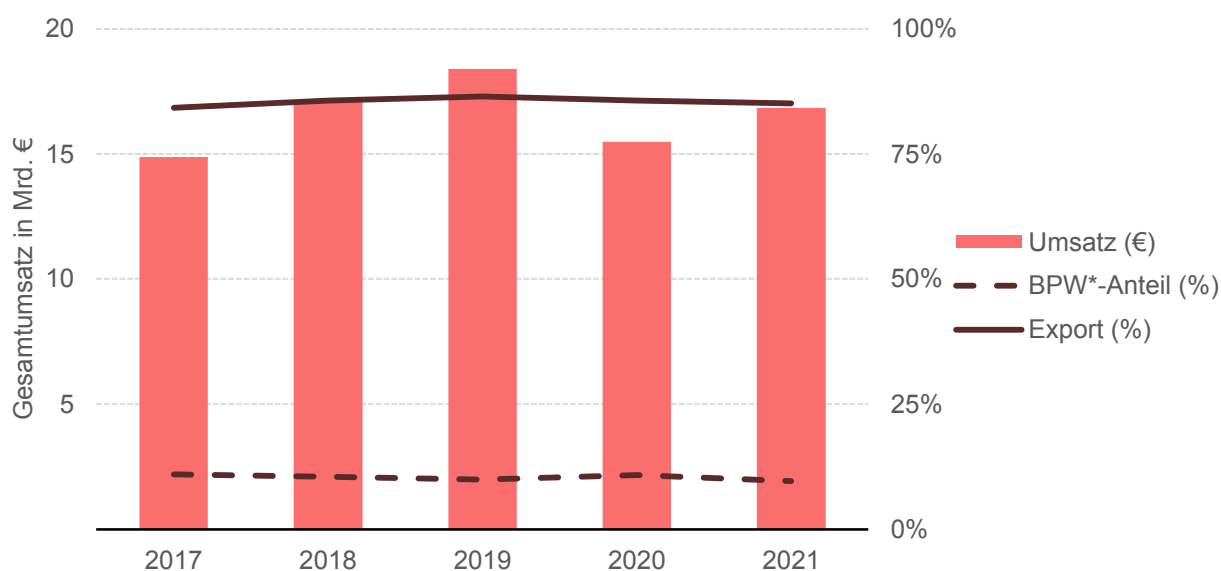


Abbildung 3: Umsatz der österreichischen Automobilindustrie [17, 18, 19, 20, 21]  
\*Bruttoproduktionswert

## 1.3 Zielsetzung

In der Studie E-MAPP 2 wurden schon technologische Analysen durchgeführt, die die Effekte dieses Mobilitätswandels auf die österreichische Fahrzeugindustrie auf einer wissenschaftlich fundierten Basis darstellten und dadurch ein Hilfsmittel kreierten, das konkrete Maßnahmen für die positive Nutzung der Transformationen vorgeschlagen und die Hersteller dementsprechend unterstützt hat. Die Grenzen der Vorgängerstudien waren die ausschließliche Betrachtung der PKW- und LNF-Klassen. Für diese wurden die Analysen nur bis 2030 durchgeführt. Daher ist das Ziel dieser Studie die schon für PKW und LNF durchgeführten Prognosen zu aktualisieren und bis 2035 zu erweitern. Des Weiteren

werden die NFZ-Klassen in diese Studie inkorporiert. Auch die Effekte der Transformation auf die Entwicklung der Traktoren und zweirädrigen Kraftfahrzeuge wird qualitativ erfasst. Mittels dieser Studie werden auch die potentiellen Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Fahrzeugindustrie abgeschätzt.

## 2 Methodisches Vorgehen

Dieses Kapitel beschreibt die in dieser Studie verwendete Methodik.

### 2.1 PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Die aus den Studien E-MAPP und E-MAPP 2 bekannte Methodik wird für die betrachteten Fahrzeugklassen PKW und NFZ herangezogen. Einleitend werden an dieser Stelle noch die etablierten Antriebsarten, welche in dieser Studie Betrachtung finden, definiert, da sie die Ausgangsbasis für alle weiteren Abschnitte dieser Methodik bilden. Folgende Antriebsarten werden berücksichtigt:

- Verbrennungskraftmaschine (VKM)
- Hybrid Electric Vehicle bzw. Hybridfahrzeug (HEV)
- Plugin Hybrid Electric Vehicle bzw. Plug-in-Hybridfahrzeug (PHEV)
- Battery Electric Vehicle bzw. batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)
- Fuel Cell Electric Vehicle bzw. Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV)

Zu der Kategorie VKM zählen alle Verbrennungskraftmaschinen, die mittels konventionellen Kraftstoffen betrieben werden. VKM mit alternativen Kraftstoffen bleiben in dieser Studie unberücksichtigt. Zu den HEV zählen Mild-Hybrid- und die Vollhybrid-Fahrzeuge, während Micro-Hybride aufgrund der geringen elektrischen Leistung den VKM hinzugechnet werden. Bei FCEV finden nur jene Fahrzeuge Betrachtung, wo die Brennstoffzelle nicht lediglich als Range-Extender dient. Fahrzeuge mit Wasserstoff-VKM-Konfiguration werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Der Kern der Methodik besteht aus folgenden Teilen (Abbildung 4):

1. Erstellen von Stückzahlenszenarien
2. Definieren der Referenzfahrzeuge
3. Ermitteln der Komponentenherstellkosten

Im ersten Schritt werden globale Stückzahlenprognosen für alle in Tabelle 1 aufgelisteten Fahrzeugklassen bis zum Jahr 2035 erstellt. Dabei wird auf Studien von namhaften Consultingfirmen und Institutionen zurückgegriffen und mittels Input aus Expertengesprächen

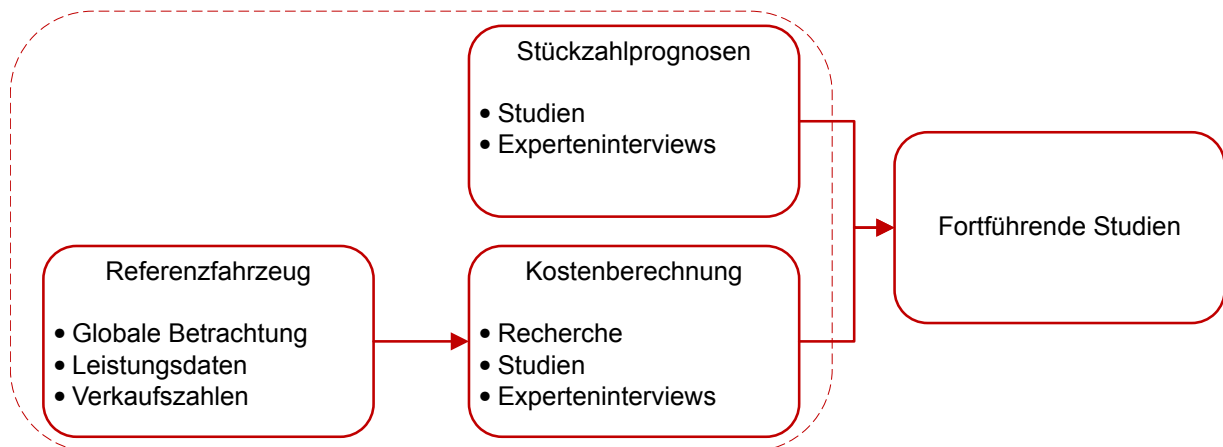


Abbildung 4: Methodik  
Zusammenhang der Kernbereiche

verifiziert. Neben den absoluten globalen Verkaufszahlen werden auch die Entwicklungen der Marktanteile der jeweilige Antriebsart, die den Antriebsmix darstellen, ermittelt. Die Erstellung der Stückzahlprognose erfolgt für jede Kraftfahrzeugklasse individuell, bis auf PKW und N1, die zusammengefasst dargestellt werden.

Referenzfahrzeuge dienen als Bezugspunkte für die Kostenrechnungen und erlauben eine Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Antriebsarten. Bei der Modellauswahl für die Bestimmung des PKW-Referenzfahrzeugs mit VKM wurde eine jährliche untere Verkaufsgrenze von mindestens 150.000 Stück und eine obere Leistungsgrenze von 250 kW gesetzt. Grund dafür war die große Anzahl an global verfügbaren PKW-Modellen. Bei den anderen Antriebsarten und den Nutzfahrzeugen gibt es aufgrund der deutlich geringeren Stückzahlen keine derartige Limitierung. Die globale Betrachtung der NFZ-Klasse erfolgte nach dem in der Tabelle 1 stehenden Gewichtsklassen, um einen globalen Vergleich zu ermöglichen.

Die Produktionsstückzahlen von Fahrzeugen spielen eine wesentliche Rolle, da sie als Gewichtungsfaktor für die Leistungsdaten der jeweiligen Modelle zum Einsatz kommen. Durch das Gewichten der Fahrzeugparameter (wie Leistung, Batteriekapazität, usw.) nach globalen Verkaufszahlen, lassen sich Fahrzeugparameter bestimmen, welche die Grundlage für die Wahl der Referenzfahrzeuge bilden. Für die Studie wurde jenes Fahrzeugmodell als Referenz gewählt, welches den berechneten Werten am nächsten liegt bzw. diese am besten abbildet. Somit ergibt sich für jede Antriebsart in jeder Fahrzeugklasse ein Referenzfahrzeug, welches diese global am Besten repräsentiert. An dieser Stelle soll noch angemerkt werden, dass das Referenzfahrzeug für die gemeinsame Klasse von PKW und leichten Nutzfahrzeuge nur anhand der PKW-Daten gewählt wurde, da diese

von den Stückzahlen her deutlich dominieren. Ein Zusammenfassen dieser beiden Klassen erweist sich zudem aufgrund vieler Gemeinsamkeiten in den Spezifikation als zulässig und ist in der Literatur eine gängige Vorgehensweise.

Tabelle 1: Europäische Richtlinie für Fahrzeugklassen [22]

<b>Klasse</b>	<b>Definition</b>
<b>M</b>	<b>Kraftwagen zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern</b>
M1	Personenkraftwagen
<b>N</b>	<b>Lastkraftwagen (Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern)</b>
N1	Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) - Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 3.500 kg.
N2	Mittlere Nutzfahrzeuge - Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit zulässiger Gesamtmasse von mehr als 3.500 kg und höchstens 12.000 kg.
N3	Schwere Nutzfahrzeuge - Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12.000 kg.

Im letzten Schritt erfolgt die Bestimmung der Herstellungskosten der Einzelkomponenten. Präliminär sind die Gesamtherstellungskosten der Referenzfahrzeuge zu bestimmen. Diese wurden aus den Nettokosten der VKM-Referenzfahrzeuge und einem fahrzeugklassenspezifischen Prozentsatz, welcher aus Recherchen und Expertengesprächen hervorgegangen ist, errechnet. Weitergehend erfolgt eine Unterteilung der Komponenten der jeweiligen Referenzfahrzeuge in antriebsartabhängige und antriebsartunabhängige Bauteile.

Zu den antriebsartabhängigen Einzelteilen zählen jene Komponenten, die bei den spezifischen Antriebsarten Verwendung finden (z.B.: Verbrennungsmotor, Elektromotor, Wasserstofftank). Die der jeweiligen Antriebsart zugeschriebenen Komponenten werden einer ausführlichen Kostenanalyse unterzogen. Alle anderen Komponenten, also "der Rest", die bei allen Fahrzeugen vorhanden sind und nicht von der Antriebsart abhängen, sind dem Basisfahrzeug zugeordnet (z.B.: Lenkrad, Sitze). Das bedeutet, dass das Basisfahrzeug für alle Antriebsarten einer Fahrzeugklasse gleich ist und sich nicht ändert. Der Wert des Basisfahrzeuge ergibt sich aus den Herstellungskosten des Referenzfahrzeuges abzüglich der detailliert betrachteten antriebsartabhängigen Komponenten. Diese Vorgangsweise wird der Vollständigkeit halber erwähnt, ist aber aus den dargestellten Resultaten

aus Datenschutzgründen omittiert. In den Ergebnissen sind daher nur die Gesamtherstellungskosten (Summe aus Basisfahrzeug- und antriebsabhängigen Herstellungskosten) der Fahrzeuge dargestellt. In die Erarbeitung der Herstellungskosten fließen Recherchen und Expertengespräche mit Mitgliedern des Fachverbandes der Fahrzeugindustrie Österreichs, die auch zur Verifizierung der Rechercheergebnisse dienen, ein.

## 2.2 Landwirtschaftliche und zweirädrige Kraftfahrzeuge

Die qualitativen Analysen dieser Fahrzeugklassen erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden auf einer globalen Ebene die Stückzahlen und deren Entwicklung betrachtet. Im zweiten Schritt wird der Stand der Technik und die potentiellen zukünftigen Marktanteile verschiedener Antriebstechnologien beurteilt. Die Beurteilung orientiert sich zum einen am heutigen Marktangebot und auch an Entwicklungen bzw. Ankündigungen von namhaften Herstellern und zum anderen den Vor- und Nachteilen gegenüber dem konventionellen Antrieb. Die betrachteten Motorradklassen sind in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2: Fahrzeugklassen für zweirädrige Kraftfahrzeuge (KFZ) [22]

<b>Klasse</b>	<b>Definition</b>
<b>L</b>	<b>Krafträder/Kraftfahrzeuge</b>
L1e	Leichtes zweirädriges Kraftfahrzeug
L3e	Zweirädriges Kraftrad

## 2.3 Automatisiertes Fahren

Die Entwicklung und der Einfluss des automatisierten Fahrens auf die Fahrzeugindustrie wird mittels einer qualitativen Analyse bewertet. Für diese Zwecke werden publizierte Studien von namhaften Consultingfirmen herangezogen. Die Analyse erfolgt dabei in zwei Schritten. Zuerst werden die gesetzlichen und technischen Hürden behandelt. Im zweiten Schritt wird die erwartete Marktentwicklung abgeschätzt.

### 3 Stückzahlenszenarien

Dieses Kapitel beschreibt die zukünftig erwarteten Stückzahlprognosen sowie Antriebsmixverteilungen der betrachteten Fahrzeugklassen. Diese Prognosen orientieren sich nach den aktuell gültigen Verordnungen bezüglich Emissionszielen [12, 13].

#### 3.1 Personenkraftwagen & leichte Nutzfahrzeuge N1

Aus den Recherchen zu zukünftigen globalen Stückzahlen und Antriebsverteilungen für PKW und leichte Nutzfahrzeuge wird die historische und prognostizierte Stückzahlen- und Antriebsmixentwicklung in Abbildung 5 dargestellt.

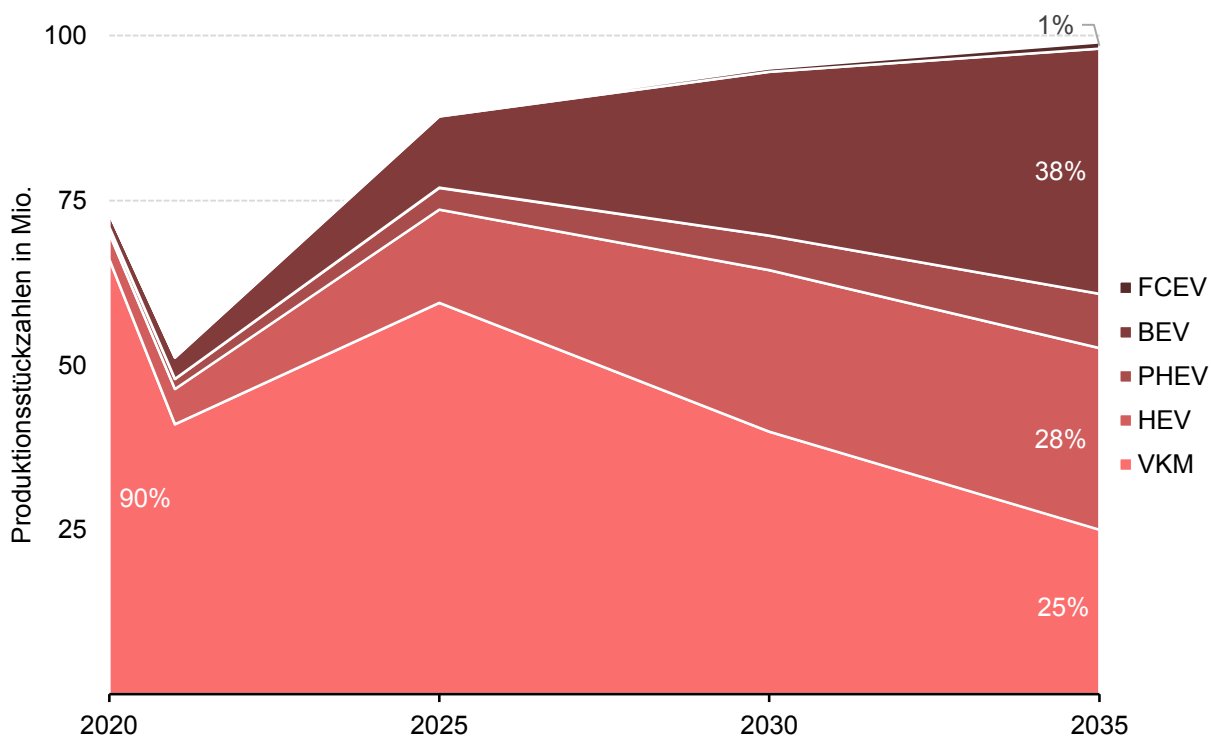


Abbildung 5: PKW und leichte Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (global) [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31] [eigene Berechnungen]

Vergleich von Stückzahlen- und Antriebsmixentwicklung unterschiedlicher Antriebsarten

Im Krisenjahr 2020 gab es einen Einbruch bei den Verkaufszahlen, die aber seitdem wieder im steigen sind. Prognosen gehen davon aus, dass sich dieser positive Trend fortsetzen wird und ein starker Anstieg der globalen Produktionsstückzahlen zu verzeichnen sein wird. Bis 2030 sollte das Vorkrisenniveau deutlich übertroffen sein. Die Marke von 100 Millionen produzierten PKW und leichten Nutzfahrzeugen könnte bis 2035 erreicht



sein. Mitglieder des Fachverbandes der Fahrzeugindustrie Österreichs erwarten sogar einen Anstieg auf 105 Millionen produzierten Fahrzeugen bis 2035.

Erwartungen gehen davon aus, dass VKM einen bedeutenden Marktanteil im Antriebsmix verlieren werden. BEV wird von allen Antriebsarten am stärksten zulegen. Auch unter Betrachtung dieser Vermutungen werden Verbrennungsmotoren in noch ca. 60 % aller Fahrzeuge im Jahr 2035 verbaut sein. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass zukünftig FCEV-Fahrzeuge weiterhin keinen großen Anteil in diesem Segment aufweisen werden.

Bei einem Vergleich der globalen Betrachtung mit einer europäischen Prognose (Abbildung 6) sind doch deutliche Unterschiede in der Antriebsmixverteilung zu erkennen. Zwar wird auch in Europa ein Anstieg bei den Stückzahlen erwartet, jedoch wird der VKM-Anteil in Europa bis 2035 praktisch nicht mehr vorhanden sein. HEV und PHEV werden in den kommenden Jahren zulegen, aber ab 2030 bis 2035 deutlich abnehmen. Somit wird der Anteil der Fahrzeuge, die noch mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet sind, bis 2035 auf 4 Mio. Stück sinken, was einem Marktanteil von ca. 20 % entspricht. Dementsprechend werden zukünftig die BEV-Fahrzeuge die Neuzulassungen des europäischen Marktes dominieren. FCEV wird auch in Europa keine besondere Rolle einnehmen.

## 3.2 Mittlere Nutzfahrzeuge N2

Bei den mittleren NFZ geht man von einem starken Anstieg bei den Verkaufszahlen aus (Abbildung 7). Im Basisjahr lag die Fahrzeugproduktion knapp unter 1 Mio. Einheiten, die sich aber bis 2035 mehr als verdoppeln soll.

In Hinsicht auf den Antriebsmix wird angenommen, dass bis 2035 VKM die dominante Antriebsvariante bleibt, wobei auch BEV stark an Bedeutung gewinnt und nach VKM den Platz als zweitwichtigste Antriebsvariante einnimmt. Prognosen zufolge stellt sich für PHEV und FCEV ein geringes Wachstum bei den Stückzahlen ein und es wird erwartet, dass diese Antriebsarten auch bis 2035 in diesem Segment eine untergeordnete Rolle spielen werden.

Ein Blick auf die erwartete europäische Stückzahlentwicklung (Abbildung 8) zeigt Ähnlichkeiten zum prognostizierten globalen Antriebsmix, wobei hier FCEV einen Vorsprung aufweisen könnte. Auch hier wird davon ausgegangen, dass VKM führend bleibt.

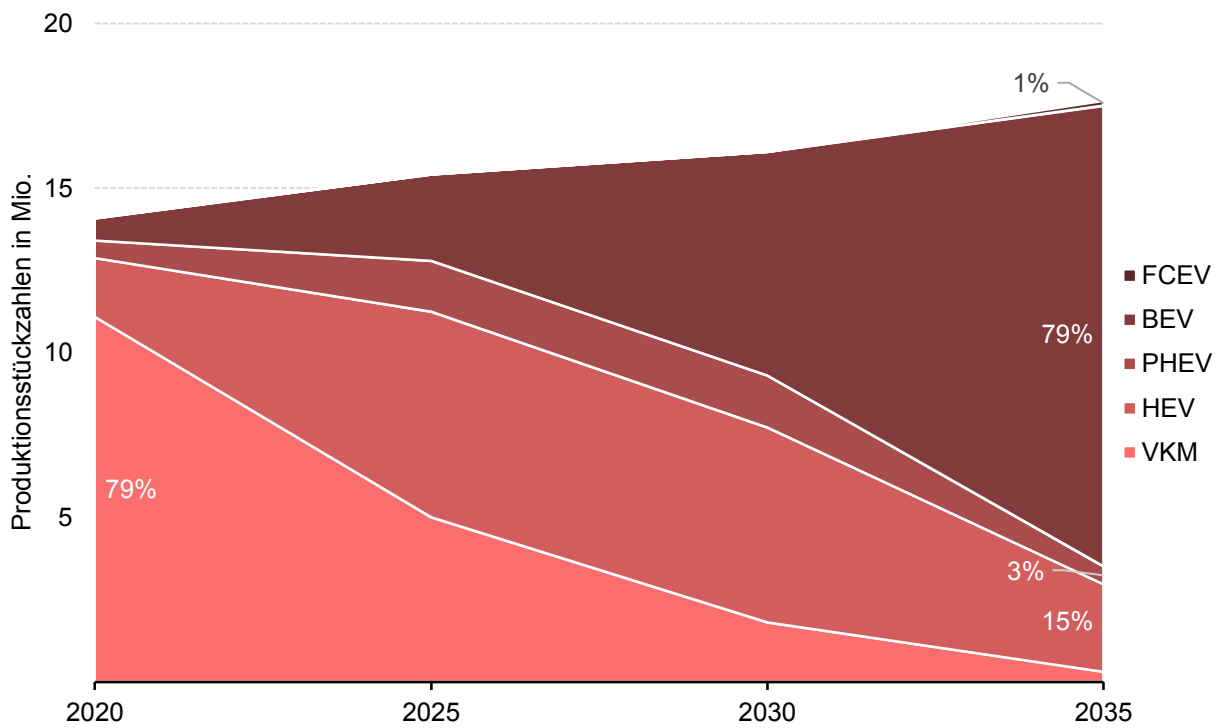


Abbildung 6: PKW und leichte Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (EU) [32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 28, 41, 42]

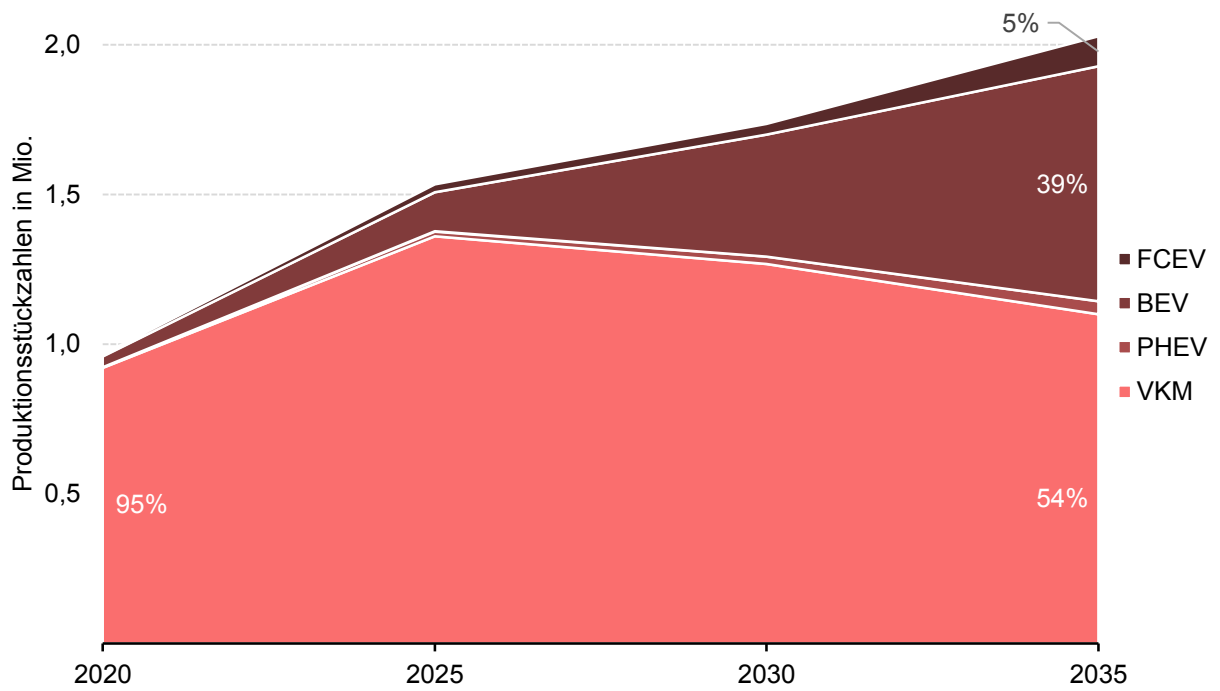


Abbildung 7: Mittlere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (global) [23, 27, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 24]

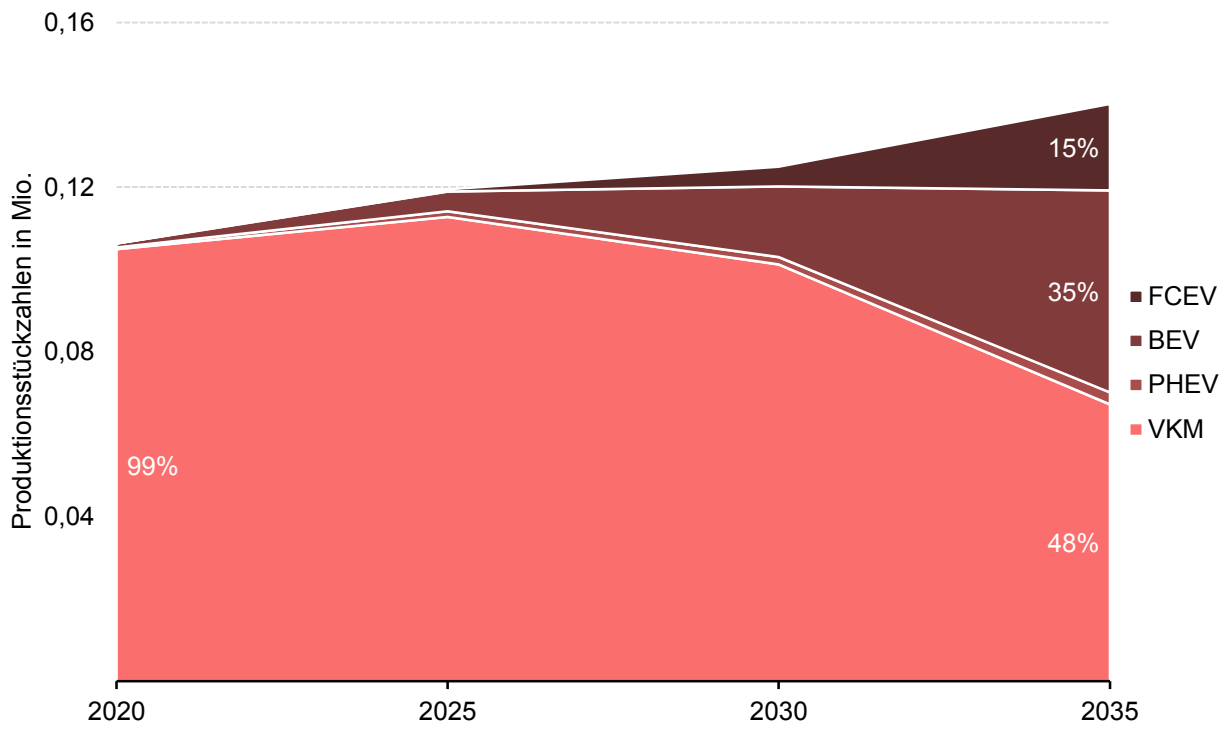


Abbildung 8: Mittlere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (EU) [45]

### 3.3 Schwere Nutzfahrzeuge N3

Bei den schweren NFZ geht man bis 2035 von einem leichten Wachstum von ca. 2% p.a. aus (Abbildung 9). Im Basisjahr lag die Produktion bei ca. 3,5 Mio. Einheiten und wird bis 2035 auf knapp unter 4 Mio. Einheiten ansteigen.

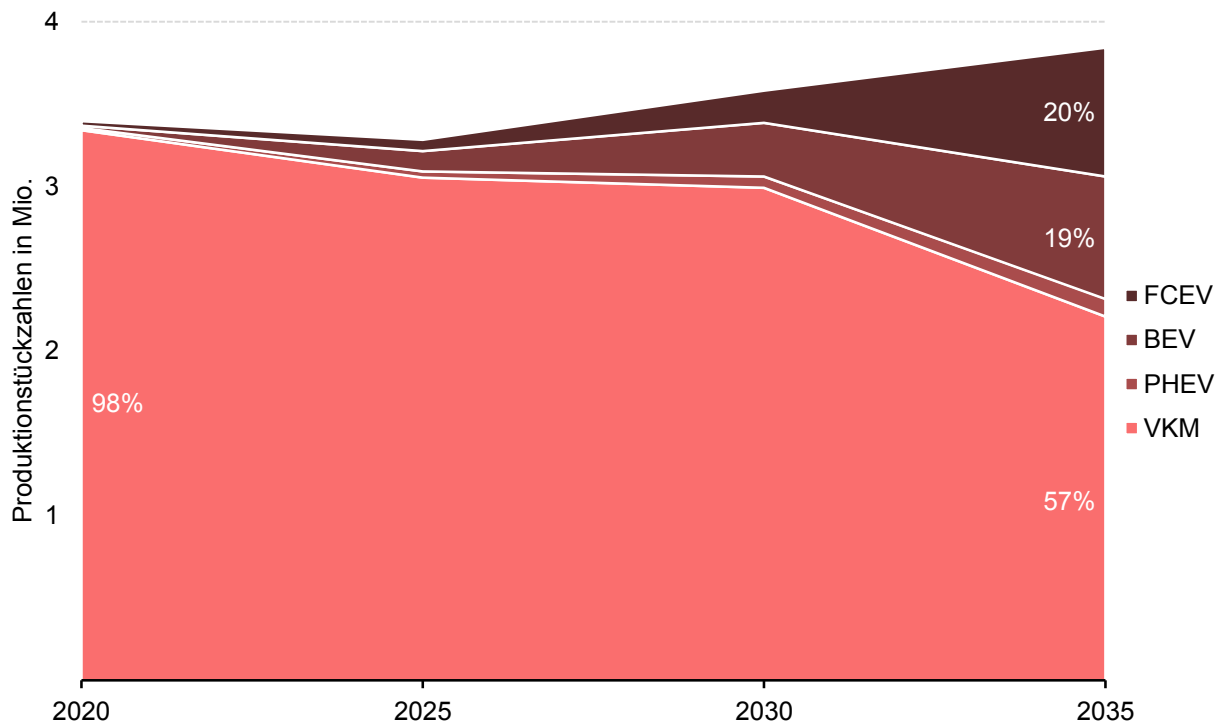


Abbildung 9: Schwere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (global) [23, 27, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 24]

Hinsichtlich dem Antriebsmix bleibt auch hier VKM bis 2035 die dominante Antriebsvariante. Es wird neben BEV auch für FCEV mit einem starken Wachstum gerechnet. PHEV wird 2035 in nur sehr geringen Stückzahlen vorhanden sein. Recherchen legen nahe, dass HEV in dieser Fahrzeugklasse auch in Zukunft nicht vorhanden sein wird.

Erwartungen für die Stückzahlentwicklung in der EU (Abbildung 10) weisen Ähnlichkeiten zu den globalen auf. BEV und FCEV werden bis 2035 starke Positionen bei der Antriebsverteilung einnehmen, aber dennoch behält VKM bis dahin den größten Marktanteil.

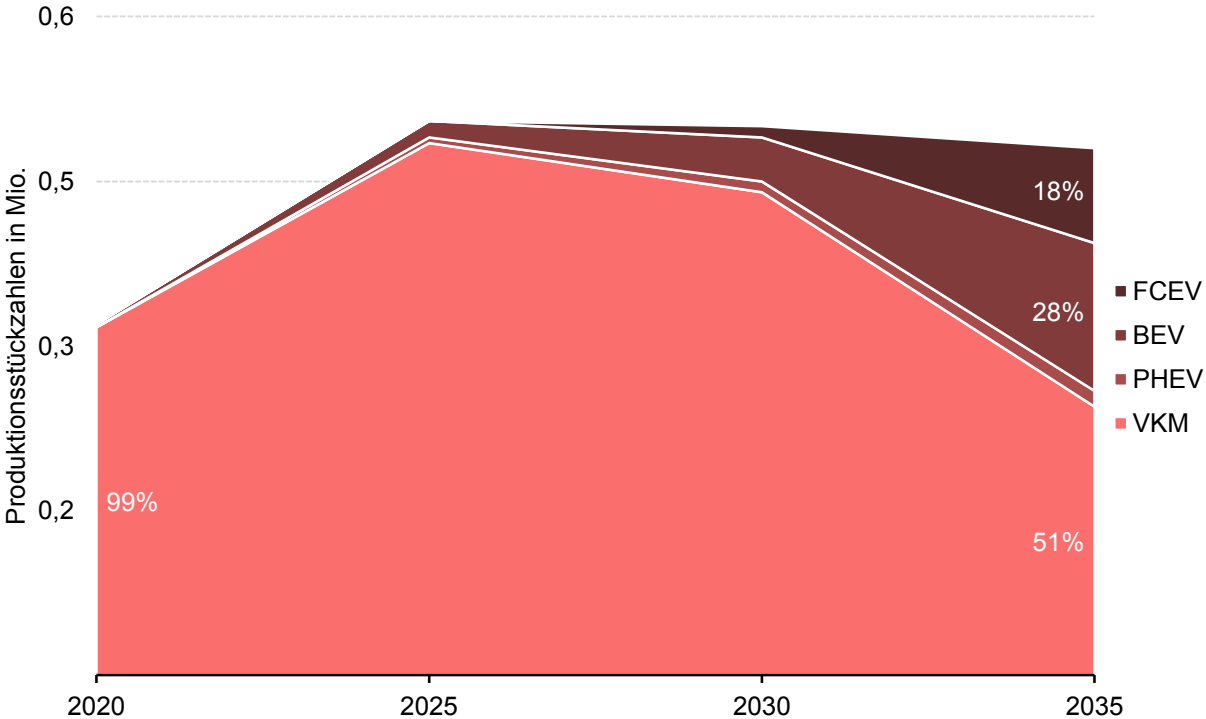


Abbildung 10: Schwere Nutzfahrzeuge - Stückzahlenentwicklung (EU) [45]

### 3.4 Qualitative Energiebetrachtung

Einen besseren Einblick auf die Entwicklung des österreichischen Verkehrssektors gibt der Energieverbrauch, welcher neben den Neufahrzeugen auch die Bestandsflotte berücksichtigt. Basis der Energiebetrachtung bildet der historische Bestand der österreichischen Flotte.

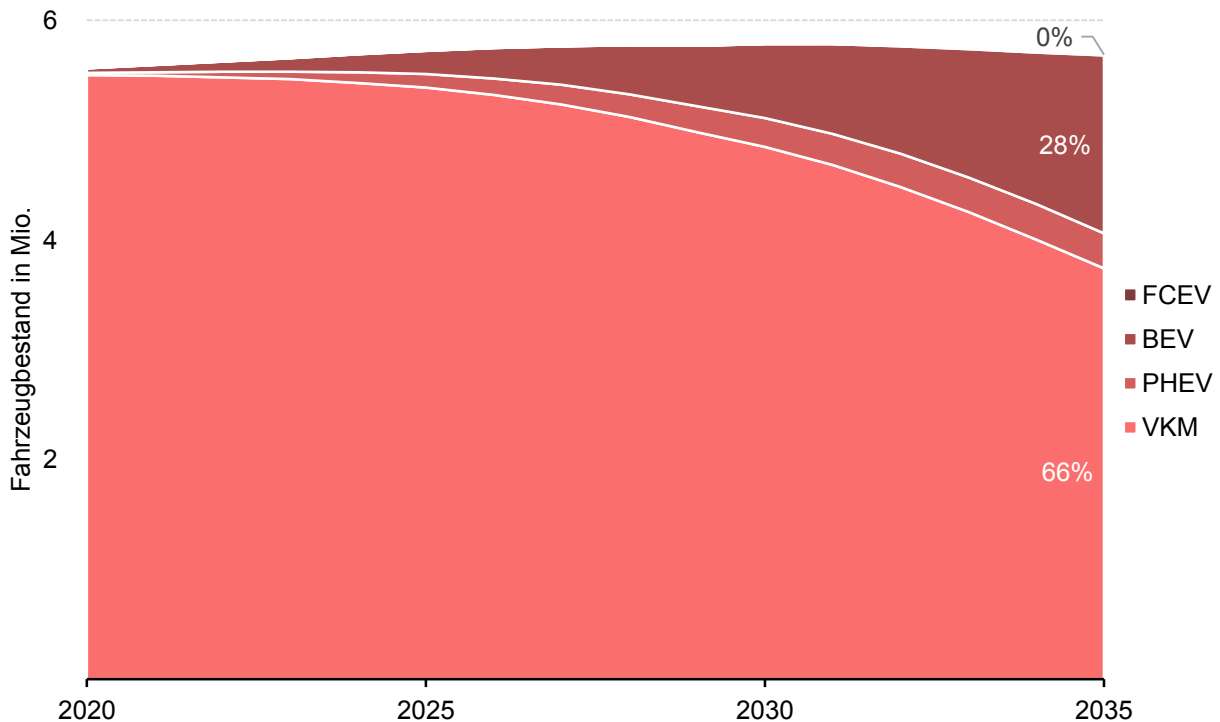


Abbildung 11: Entwicklung des Fahrzeugbestands nach Antriebsart (AT)  
[eigene Berechnungen]

Die Energiebetrachtung dient in dieser Studie dazu, um die Auswirkungen der betrachteten Stückzahlprognosen auf die Bestandsflotte aufzeigen zu können. Die Prognose wird für den österreichischen Verkehr erstellt und beinhaltet die Personenkraftwagen sowie die Nutzfahrzeuge (N1, N2 und N3). Für die zukünftige Prognose der Neuzulassungen wird die österreichische Entwicklung des Antriebsmixes dem der EU gleichgesetzt (Abbildungen 6, 8, 10). Die Berechnung der Energiebetrachtung erfolgt mit dem am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der TU Wien entwickelten Programm PROVEM. An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass die HEV-Fahrzeuge in diesem Programm in den VKM-Fahrzeugen enthalten sind.

Wie in Abbildung 11 ersichtlich, nimmt der Anteil von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen in der Flotte merklich zu. Dennoch bleiben bis 2035 die VKM-Fahrzeuge

inkl. Hybridfahrzeuge die deutlich dominierende Antriebsart. Trotz des hohen Anteils an alternativen Antriebssystemen bei den Neuzulassungen dauert es, aufgrund der Halbdauer von Fahrzeugen, eine beträchtliche Zeit bis sich die Neuzulassungen auch in der Bestandsflotte abbilden.

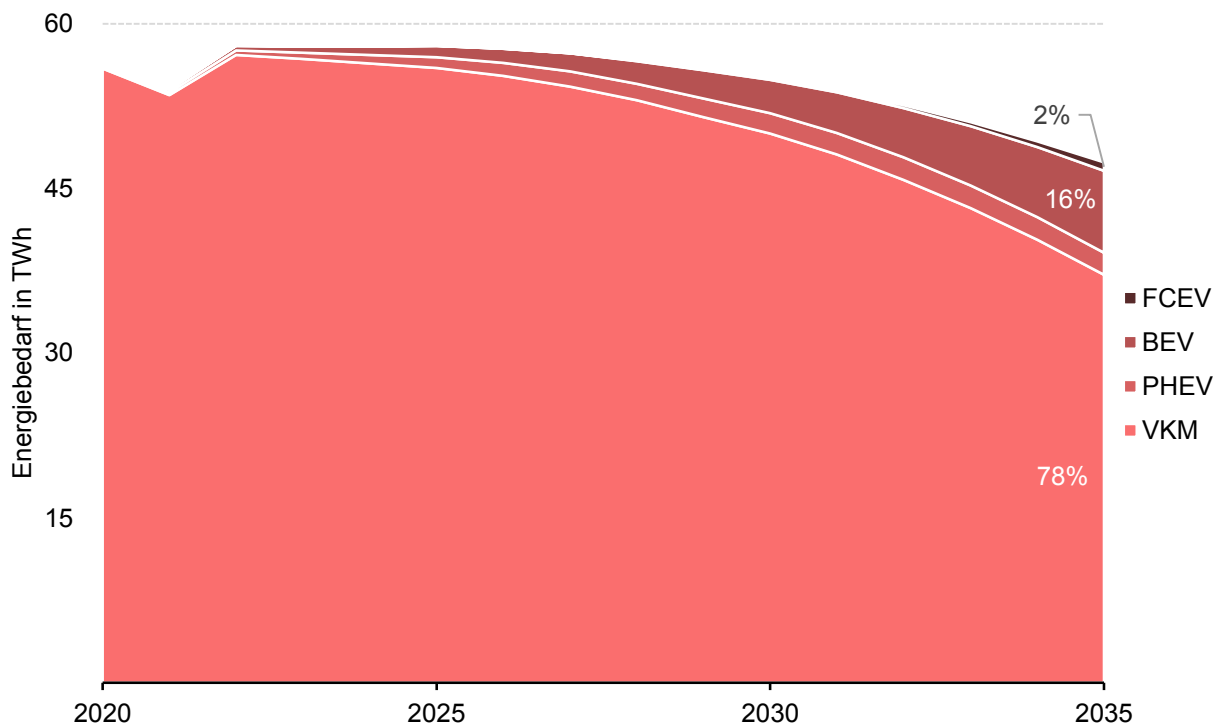


Abbildung 12: Energiebedarf nach Antriebsart (AT)  
[eigene Berechnungen]

Es ist ersichtlich (Abbildung 12), dass es im Jahr 2020 und 2021 aufgrund der Corona-Krise zu einem Einbruch des Energiebedarfes kam, welcher durch eine reduzierte Fahrleistung insbesondere bei den Personenkraftwagen zu begründen ist. 2022 wird voraussichtlich wieder das Vor-Corona-Niveau erreicht. Erst danach kommt es zu einer kontinuierlichen Abnahme des Energiebedarfes bis 2035. Dieser wird einerseits durch effizientere Fahrzeuge mit VKM begründet sowie durch die Tatsache, dass BEV-Fahrzeuge im Schnitt ca. die Hälfte an Energie benötigen im Vergleich zu Fahrzeugen mit VKM. Dieser reduzierte Energieverbrauch der BEV-Fahrzeuge in Kombination mit den deutlich zunehmenden Neuzulassungen mit alternativen Antriebsarten ist der maßgebliche Treiber der Energie-reduktion. Es sei aber trotzdem zu erwähnen, dass auch 2035 der größte Energiebedrafft immer in den VKM-Fahrzeugen seinen Ursprung findet wird.

## 4 Referenzfahrzeuge

In diesem Kapitel sind die für diese Studie gewählten Referenzfahrzeuge inklusive der Leistungsdaten angeführt.

### 4.1 Personenkraftwagen & leichte Nutzfahrzeuge N1

Für die Fahrzeugklassen PKW und leichte Nutzfahrzeuge (N1) wurde ein gemeinsames Referenzfahrzeug für die jeweils unterschiedlichen Antriebsarten gewählt. Diese sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Gewählte Referenzfahrzeuge für PKW & N1

Antriebsart	Hersteller	Modell	Leistung [kW]
VKM	Mercedes-Benz	CLA 200 4MATIC [49]	120
HEV	Mercedes-Benz	CLA 200 4MATIC*	150**
PHEV	BMW	X3 xDrive30e [50]	215**
BEV	Volkswagen	ID.3 [51]	150
FCEV	Toyota	Mirai [52]	134

\* Fiktives Fahrzeug

\*\* Systemleistung.

In den Statistiken und Jahresberichten wurde nicht zwischen den VKM- und HEV-Varianten unterschieden. Dies führte zur Wahl eines fiktiven HEV-Referenzfahrzeugs, welches an das VKM-Referenzfahrzeug angelehnt ist. Um die vollständige HEV-Konfiguration wiederzugeben, wurde die durchschnittliche Elektromotorleistung auf Basis von realen HEV zur Leistung des Referenz-VKM addiert, wodurch sich die Systemleistung des HEV ergeben hat.

Da Spezifikationen der Fahrzeuge über eine Zeitspanne von 15 Jahren in der Regel nicht konstant bleiben und somit auch Auswirkungen auf die Herstellungskosten haben, wurde für diese bis zum Jahr 2035 wie folgt angenommen:

- VKM: Zunehmende Zahl an Mircohybriden führt zu einem leichten Leistungsanstieg. Ab 2025 werden wegen abnehmendem Anteil an den Verkaufszahlen keine großen Entwicklungssprünge mehr erwartet.
- HEV: Geringfügige Zunahme bei Leistung und Batteriekapazität prognostiziert, da neue Entwicklungen höhere Leistungsgrenzen ermöglichen.



- PHEV: Anstieg bei Leistung als auch in der Batteriekapazität erwartet, da Anteil an SUVs bei den Plug-in-Hybriden zunimmt.
- BEV: Für Leistung und Batteriekapazität wird zukünftig eine Steigerung erwartet, da zunehmend auch größere Fahrzeuge als BEV angeboten und kostengünstigere Batterien mehr Reichweite bieten werden.
- FCEV: Die Leistungsparameter des Brennstoffzellenstack (BZ) und des Elektromotors werden als konstant über die Zeit angenommen, da aufgrund der geringen Stückzahlen dieser Antriebsart keine Auswirkungen auf die globalen Herstellungskosten erwartet wird.

Diese Anpassungen sind zusammengefasst in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Spezifikationsanpassungen über die Jahre für PKW und N1.

Spezifikation	Einheit	Jahre			
		2020	2025	2030	2035
<b>VKM</b>					
Leistung	<i>kW</i>	120	125	125	125
<b>HEV</b>					
Leistung (VKM)	<i>kW</i>	120	125	125	125
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	30	40	45	45
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	1,5	2	3	3
<b>PHEV</b>					
Leistung (VKM)	<i>kW</i>	135	150	160	160
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	80	100	120	120
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	12	20	25	25
<b>BEV</b>					
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	150	150	150	150
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	62	75	80	85
<b>FCEV**</b>					
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	134	134	134	134
Leistung (BZ)	<i>kW</i>	128	128	128	128
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	1,2	1,2	1,2	1,2
Wasserstofftank	<i>kgH<sub>2</sub></i>	5,6	5,6	5,6	5,6

\* Brutto.

\*\* Keine Anpassung aufgrund geringer Stückzahlen vorgenommen.

## 4.2 Mittlere Nutzfahrzeuge N2

In der Tabelle 5 sind die gewählten Referenzfahrzeuge für die mittleren Nutzfahrzeuge (N2) angegeben. Für diese Fahrzeugklasse sind keine HEV-Fahrzeuge verfügbar, daher wird diese Antriebsart nicht berücksichtigt.

Tabelle 5: Gewählte Referenzfahrzeuge für N2

Antriebsart	Hersteller	Modell	Leistung [kW]
VKM	Mercedes-Benz	Atego [53]	220
HEV	Nicht verfügbar.	-	-
PHEV	Quantron Iveco	Daily Q-Light [54]	252*
BEV	Fuso	eCanter [55]	115
FCEV	Fuso	F-Cell [56]	135

\* Systemleistung

Die VKM-Variante für diese Fahrzeugklasse wurde nach dem gleichen Procedere bestimmt, wie die Referenzfahrzeuge der PKW-Klasse. Durchaus problematisch ist die Verfügbarkeit von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben bei den mittleren Nutzfahrzeugen, da es zurzeit nur eine sehr geringe bzw. keine Verfügbarkeit auf dem Markt gibt. Dementsprechend sind Verkaufszahlen für diese Kategorien nicht erhebbar. Aus diesem Grund wurden für die alternativen Antriebe entweder ein reales Fahrzeug oder, falls keines vorhanden, ein Prototyp als Referenzfahrzeug gewählt.

Auch in dieser Klasse werden Spezifikationsanpassungen für zukünftige Leistungsparameter angenommen, welche in Tabelle 6 aufgelistet sind. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- VKM: Zukünftig keine Veränderung der Leistung erwartet.
- PHEV: Es sind keine Prognosen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungsrichtung vorhersehbar, daher wurden die Parameter als konstant angenommen.
- BEV: Da die BEV-Fahrzeuge zukünftig die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ersetzen sollen, wird eine Steigerung bei Leistung und Batteriekapazität erwartet, um ähnliche Leistungsdaten wie die VKM-Fahrzeuge zu erreichen.
- FCEV: Derzeit nur Prototypen verfügbar, daher kann keine fundierte zukünftige Entwicklung prognostiziert werden.

Tabelle 6: Spezifikationsanpassungen über die Jahre für mittlere NFZ

Spezifikation	Einheit	Jahre			
		2020	2025	2030	2035
<b>VKM</b>					
Leistung	<i>kW</i>	220	220	220	220
<b>PHEV</b>					
Leistung (VKM)	<i>kW</i>	134	134	134	134
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	118	118	118	118
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	29	29	29	29
<b>BEV</b>					
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	115	130	160	220
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	82,8	100	140	190
<b>FCEV</b>					
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	135	135	135	135
Leistung (Fuel Cell)	<i>kW</i>	75	75	75	75
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	40	40	40	40
Wasserstofftank	<i>kgH<sub>2</sub></i>	10	10	10	10

\* Brutto

### 4.3 Schwere Nutzfahrzeuge N3

In der Tabelle 7 sind die gewählten Referenzfahrzeuge für die schweren Nutzfahrzeuge aufgelistet. Wie auch bei den mittleren Nutzfahrzeugen sind auch in dieser Fahrzeugklasse keine HEV am Markt verfügbar, weshalb diese Antriebsart unberücksichtigt bleibt.

Tabelle 7: Gewählte Referenzfahrzeuge für N3

Abtriebsart	Hersteller	Modell	Leistung [kW]
VKM	Daimler	Actros [57]	290
HEV	Nicht verfügbar.	-	-
PHEV	Scania	P360L PHEV [58]	436*
BEV	Freightliner	eCascadia [59]	373
FCEV	Daimler	Gen-H2-Truck [60]	300

\* Systemleistung

Die schweren Nutzfahrzeuge wurde nach dem selben Schema wie die mittleren Nutzfahrzeuge ermittelt, da sich hier die exakt gleiche Situation bei den alternativen Antriebsarten

abzeichnet. Die VKM-Variante konnte über Leistungsdaten und Verkaufszahlen bestimmt werden. Die Referenzfahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen wurden manuell ausgewählt.

In Tabelle 8 sind die prognostizierten Spezifikationsänderungen der schweren Nutzfahrzeuge aufgelistet, wobei folgende Annahmen zugrunde liegen:

- VKM: Die Leistung ändert sich nur marginal, da diese Klasse gut am Markt etabliert ist und zukünftig keine großen Leistungssprünge zu erwarten sind.
- PHEV: Es sind keine Prognosen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungsrichtung vorhersehbar, daher wurden die Parameter als nahezu konstant angenommen.
- BEV: Da die BEV-Fahrzeuge zukünftig die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ersetzen sollen, wird eine Steigerung bei Leistung und Batteriekapazität erwartet, um ähnliche Leistungsdaten wie die VKM-Fahrzeuge zu erreichen.
- FCEV: Leistungsdaten werden annähernd konstant gehalten, da diese bereits im Jahr 2020 sehr nahe an jenen der VKM-Fahrzeuge waren, welche sie zukünftig ersetzen sollen.

Tabelle 8: Spezifikationsanpassungen über die Jahre für schwere NFZ

Spezifikation	Einheit	Jahre			
		2020	2025	2030	2035
<b>VKM</b>					
Leistung	<i>kW</i>	290	300	300	300
<b>PHEV</b>					
Leistung (VKM)	<i>kW</i>	205	205	205	205
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	230	250	250	250
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	90	90	90	90
<b>BEV</b>					
Leistung	<i>kW</i>	373	400	425	450
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	315	400	500	550
<b>FCEV</b>					
Leistung (E-Motor)	<i>kW</i>	330	350	350	350
Leistung (Fuel Cell)	<i>kW</i>	300	320	320	320
Batteriekapazität*	<i>kWh</i>	70	70	60	60
Wasserstofftank	<i>kgH<sub>2</sub></i>	80	80	80	80

\* Brutto

## 5 Komponentenherstellkosten

Dieses Kapitel umfasst die zukünftige Entwicklungen der Fahrzeug-Herstellungskosten.

### 5.1 Personenkraftwagen & leichte Nutzfahrzeuge N1

In Abbildung 13 sind die ermittelten Kosten und Kostenprognosen für die betrachteten Antriebsarten ersichtlich. Die hier dargestellten Kosten beziehen sich auf Fahrzeuge, deren Spezifikation über die Jahre nicht angepasst wurden. Dies heißt, dass die wichtigsten Leistungsgrößen der Fahrzeuge von 2020 bis 2035 unverändert geblieben sind. Durch das Konstanthalten der Spezifikationen ist die Kostenentwicklung der einzelnen Antriebsarten besser ersichtlich. Es ist anzunehmen, dass die Kosten der alternativen Antriebe anhand von Skaleneffekten in den nächsten Jahren sinken werden. Bei VKM wird hingegen eine geringfügige Kostensteigerung erwartet, die auf steigende Kosten bei Rohstoffen und in der Fertigung zurückzuführen ist.

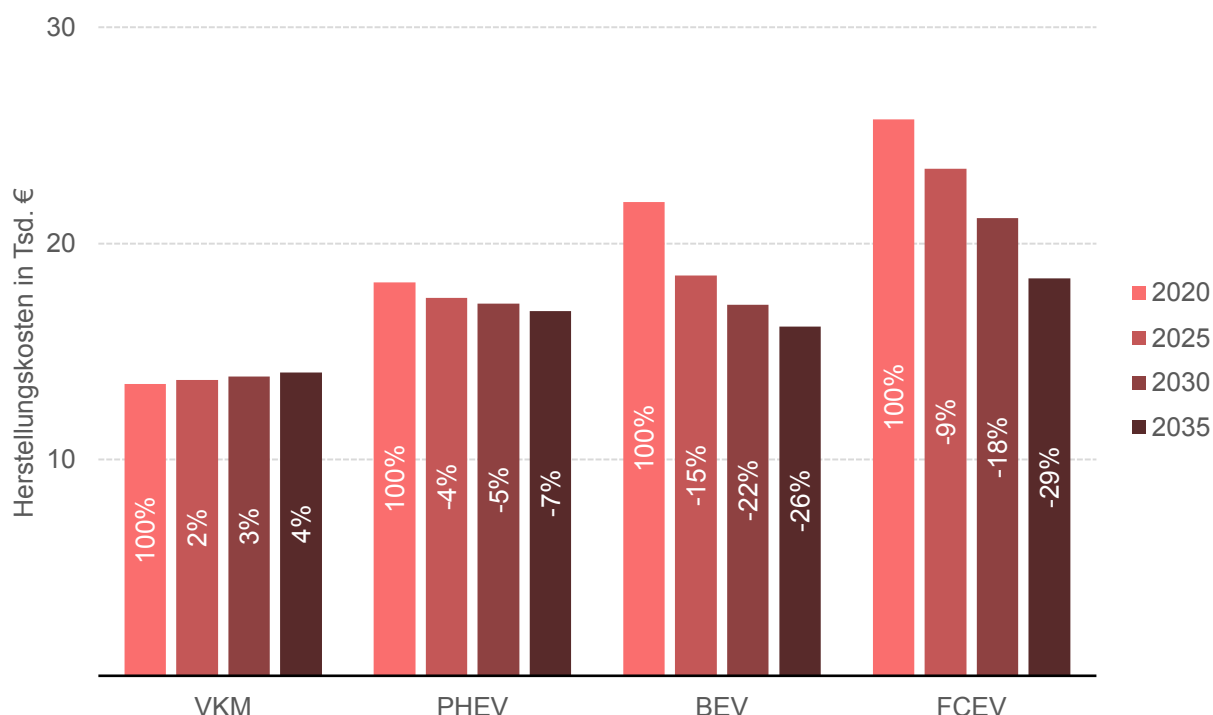


Abbildung 13: Kostenentwicklung von PKW und LNF (nicht angepasst)

Kosten basieren auf eigenen Berechnungen und Expertengesprächen.  
Prozentuelle Änderungen bezogen auf Basisjahr 2020.

In der Abbildung 14 sind die Herstellungskosten, die sich durch die Spezifikationsanpassungen nach Tabelle 4 ergeben, ersichtlich.

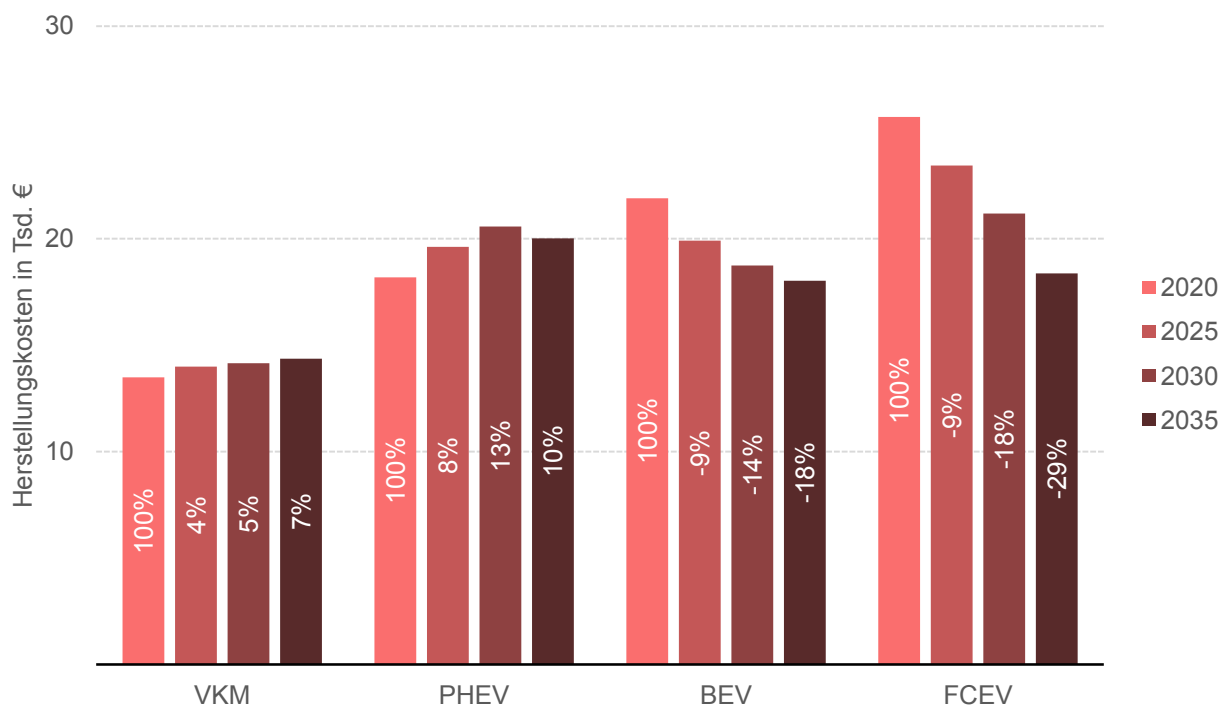


Abbildung 14: Kostenentwicklung von PKW und LNF (angepasst)

Kosten basieren auf eigenen Berechnungen und Expertengesprächen.  
Prozentuelle Änderungen bezogen auf Basisjahr 2020.

Durch die Anpassungen der Spezifikationen fallen die Ersparnisse bei den Herstellungskosten geringer aus bzw. führen sogar zu einer Preissteigerung. Bei VKM steigen diese Kosten aufgrund der Leistungsbereicherung stärker an. Bei PHEV geht man bis 2030 sogar von einer deutlichen Kostensteigerung aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Steigerung der Batteriekapazität nicht komplett durch die sinkenden Herstellungskosten für Batterien kompensiert werden kann. Neben diesen Kosten, steigen auch, wie schon beim VKM ersichtlich war, die Herstellungskosten für Verbrennungsmotoren. Ein weiterer Faktor ist die deutlich stärkere Steigung der Gesamtleistung der PHEV-Variante, die darauf zurückzuführen ist, dass PHEV zurzeit hauptsächlich im Premiumsegment angesiedelt ist und dies auch in Zukunft der Fall sein wird bzw. sich dieser Effekt sogar, durch den Wegfall kleinerer Fahrzeuge mit dieser Antriebsart, verstärken wird. Die Senkung der Herstellungskosten bei BEV fällt durch die Spezifikationsanpassungen etwas geringer aus. Für FCEV wurden keine Spezifikationsanpassungen vorgenommen, da hier auch in Zukunft von einem sehr kleinen Markt ausgegangen wird und die Spezifikationen auch keiner Anpassung, in Relation zu VKM, bedürfen.

## 5.2 Mittlere Nutzfahrzeuge N2

Die Kostenentwicklung für die einzelnen Antriebsarten, in der auch die Spezifikationsänderung nach Tabelle 6 berücksichtigt sind, ist in Abbildung 15 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Kosten bei VKM steigen werden. Bei PHEV sinken die Kosten, da die Spezifikation über die Jahre konstant bleiben. Dies wird damit begründet, dass diese Antriebsart, wie die Spezifikationen sowohl heutige als auch zukünftige Bedarfsfälle abdecken. Die Kostenentwicklung bei BEV sieht deutlich anders aus. Hier geht man in den kommenden Jahren zwar von einer leichten Kostensenkung aus, aber ab dann rechnet man mit einer Kostensteigerung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier versucht wird die Spezifikationen dieser Antriebsart an die VKM-Variante anzupassen. Erstens wird die Reichweite durch die steigende Batteriegröße erhöht und zweitens wird auch die Elektromotorleistung angepasst. Die Batteriekapazitäten steigen aber schneller an als die Herstellungskosten sinken können, wodurch die Kosten nur teilweise kompensiert werden. Bei FCEV wurden keine Anpassungen vorgenommen.

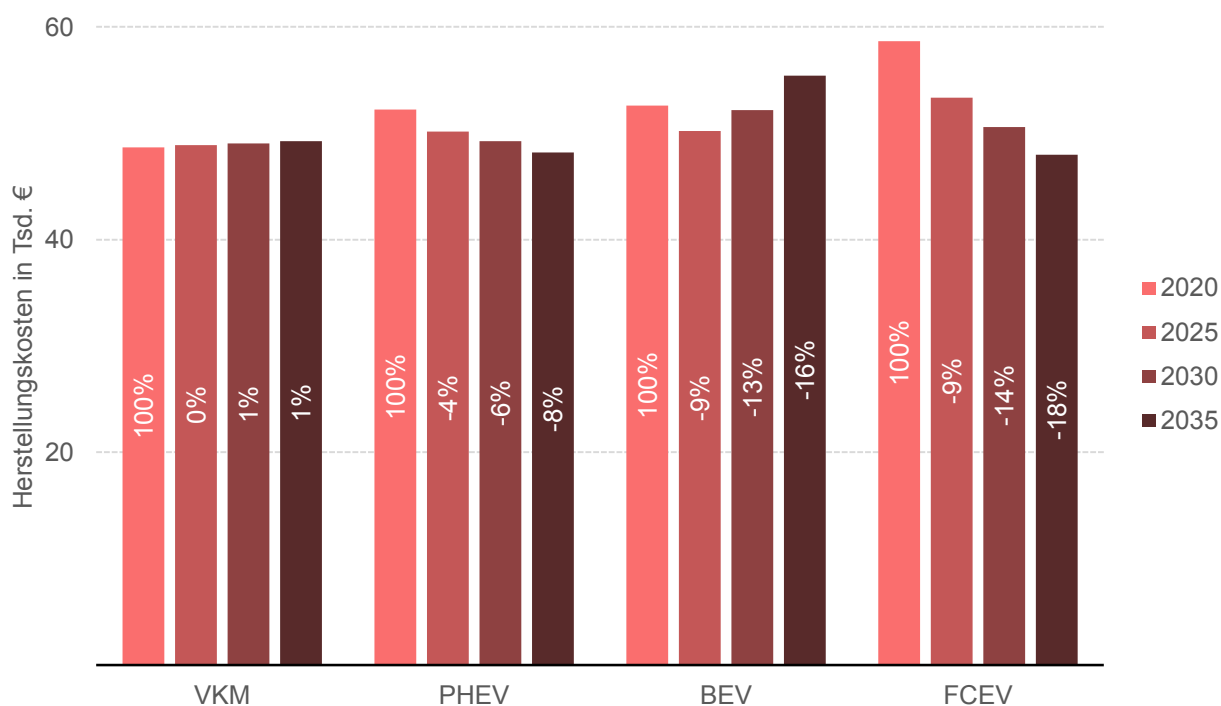


Abbildung 15: Kostenentwicklung mittlerer Nutzfahrzeuge  
 Kosten basieren auf eigenen Berechnungen und Expertengesprächen.  
 Prozentuelle Änderungen bezogen auf Basisjahr 2020.

### 5.3 Schwere Nutzfahrzeuge N3

Die in Tabelle 8 angeführten Spezifikationsänderungen führen zu den, in Abbildung 16 dargestellten, prognostizierten Kostenentwicklungen für die einzelnen Antriebsarten. Die Kosten des VKM steigen zum einen durch teurere Herstellungskosten sowie durch die erwartete Leistungssteigerung. Bei PHEV und BEV geht man von einer Kostensenkung aus, da sich hier die Spezifikation nur geringfügig ändern und die Herstellungskosten der betroffenen Komponenten sinken. Beim FCEV erwartet man insgesamt auch eine Kostensenkung.

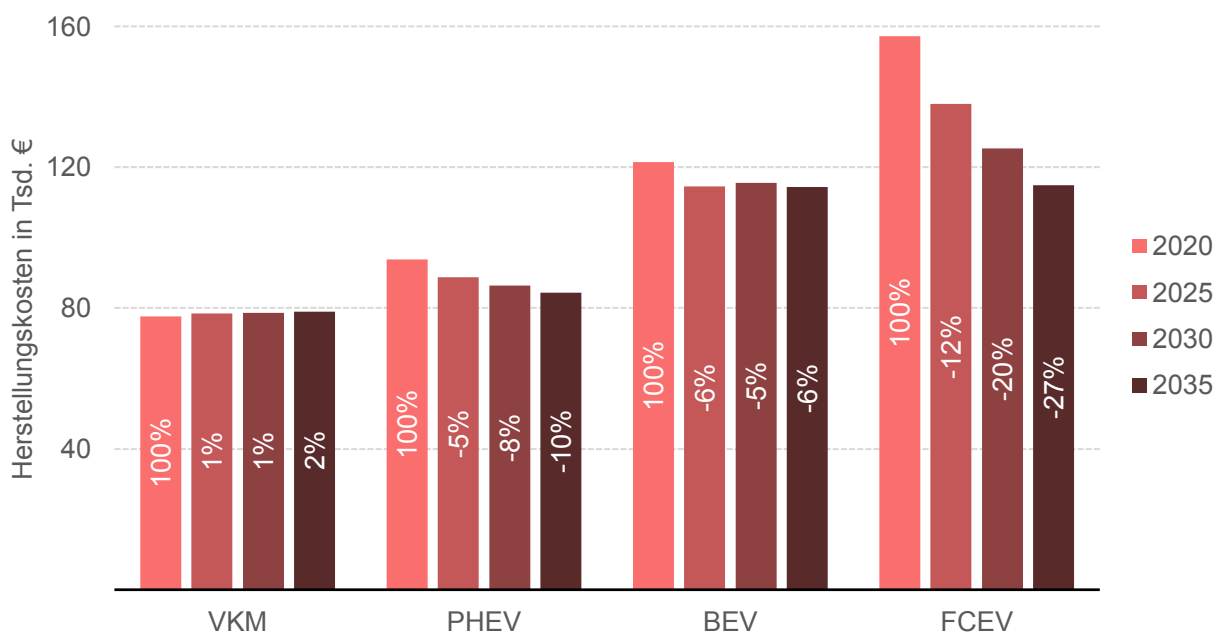


Abbildung 16: Kostenentwicklung schwerer Nutzfahrzeuge  
Kosten basieren auf eigenen Berechnungen und Expertengesprächen



## 6 Automatisiertes Fahren

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Trends und der zukünftigen Entwicklung des automatisierten Fahrens.

### 6.1 Technologie

Die SAE International hat in der Norm J3016 [61] die sechs Stufen des automatisierten Fahrens festgelegt (Tabelle 9). Automatisiertes Fahren ist neben den gesetzlichen Hindernissen, auch mit technischen Hürden, die wiederum in hardware- und softwareseitige Barrieren unterteilt werden können, konfrontiert. Nichtsdestotrotz hat automatisiertes Fahren ein sehr großes Potential die Automobilindustrie grundlegend zu verändern.

SAE Stufe	Beschreibung
0	Keine Automation Der Fahrer ist für die Fahraufgabe zuständig.
1	Assistenzsysteme Das System übernimmt mittels Verwendung der Umgebungsinformationen die Lenkung oder Beschleunigung bzw. Verzögerung. Der Fahrer ist für alle verbleibenden Fahraufgaben zuständig.
2	Teilautomatisierung Das System übernimmt mittels Verwendung der Umgebungsinformationen die Lenkung und Beschleunigung bzw. Verzögerung. Der Fahrer ist für alle verbleibenden Fahraufgaben zuständig.
3	Bedingte Automatisierung Das System übernimmt die Fahraufgaben. Der Fahrer muss bei Aufforderung die Fahraufgabe übernehmen können.
4	Hochautomatisierung Das System übernimmt die Fahraufgaben. Der Fahrer muss bei Aufforderung die Fahraufgabe übernehmen. Falls nicht, geht das System in eine Notfunktion über (Notstopp, etc.).
5	Vollautomatisierung Das System übernimmt die Fahraufgabe vollständig. Das System beherrscht, wie eine menschlicher Fahrer, alle Fahrbahn- und Umgebungsbedingungen.

Tabelle 9: Stufen der Fahrautomatisierung nach SAE

Die gesetzlichen Hürden [62] beim automatisierten Fahren liegen vor allem in einer verfügbaren gesetzlichen Regelung. Audi hatte schon bereits 2018 einen Staufahrassistenten, der als SAE-Stufe 3 klassifiziert wird, entwickelt. Dieser konnte aber aufgrund fehlender Gesetzgebung nie angeboten werden und wurde in Folge auch eingestellt [63]. Konkrete Regelungen für SAE-Stufe 3 gibt es erst seit 2021 [64] und Deutschland war noch im selben Jahr das erste Land, in dem ein Gesetz zum automatisierten Fahren auf dieser Stufe in Kraft trat [65].

Eine Voraussetzung für die Umsetzbarkeit des automatisierten Fahrens ist der Einsatz von Sensorik, mit dem das Fahrzeugsystem die Umgebung wahrnehmen kann. In den letzten Jahren ist zwar ein Großteil dieser Sensorik erschwinglich geworden [66], aber das LIDAR-System, welche als Schlüsseltechnologie für den Erfolg in diesem Feld gesehen wird [67], stellt zurzeit noch eine Ausnahme dar. 2017 lagen die durchschnittlichen Kosten für die benötigte Sensorik bei US\$ 18.000, wobei hier das Ziel von einem Durchschnittspreis von US\$ 600 bis 2024 verfolgt wird [68]. Eine weitere Herausforderung, deren Ursprung im automatisierten Fahren liegt, ist der Shift weg von Einzelsteuergeräten hin zu zentralen Recheneinheiten (auch Bordcomputer genannt) [69]. Diese verarbeiten die gesammelten Daten und ermöglichen den Sensoren miteinander zu kommunizieren. Hierbei könnten sich Zulieferer für Autohersteller zur Konkurrenz entwickeln [70]. Die Implementierung von Bordcomputer ist eng mit der Software und deren Herausforderungen, die im nächsten Abschnitt diskutiert werden, verknüpft.

Die größte Hürde bei der Umsetzung des automatisierten Fahrens stellt die Software-Seite dar. Vor einigen Jahren waren Experten davon überzeugt, dass sich spätestens im nächsten Jahrzehnt vollautomatisierte Autos durchgesetzt haben werden [71]. Bis dato gibt es nur zwei Fahrzeuge auf dem Markt, die mit einem Assistenzsystem der SAE-Stufe 3 ausgestattet sind (Mercedes EQS [72] und Honda Legend Hybrid EX [73]). Hintergrund ist der unterschätzte Komplexitätsgrad der Software. Dies hatte eine drastische Änderung der Erwartungen in Bezug auf die Serienreife der unterschiedlichen Automatisierungsstufen zufolge, wodurch die Zeitspannen bis zur Serienreife deutlich vergrößert worden sind. Zurzeit wird auch debatiert, ob SAE-Stufe 5 überhaupt umsetzbar ist. Das grundlegende Problem besteht in der Verarbeitung von Umgebungsdaten. Künstliche Intelligenz (KI) ist für das automatisierte Fahren essentiell, muss aber trainiert werden. Da bei SAE-Stufe 5 das Fahrzeugsystem alle Situationen, die ein menschlicher Fahrer bewältigen kann, beherrschen muss, benötigt das System entsprechend viele Daten um dies zu erlernen. Hier stellt sich die Frage ob praktisch überhaupt genug Daten zur Verfügung gestellt werden können, um alle Fahrsituationen abzudecken. Aus diesem Grund ist die Umsetzbarkeit

von SAE-Stufe 5 umstritten [71].

Automatisiertes Fahren wird insgesamt zu einer Wertschöpfungsverschiebung führen. Die Anteile an Elektrik, Elektronik und Software in Autos ist in den letzten Jahren sehr stark gestiegen ist und machen dementsprechend einen großen Teil der Kosten aus. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Trend fortsetzen wird und eventuell durch das automatisierte Fahren die Softwarekosten aufgrund der erforderlichen Komplexität noch stärker steigen werden [74].

## 6.2 Märkte und Prognosen

Prognosen schätzen, dass SAE-Stufe 3 in den kommenden Jahren im größeren Maße verfügbar sein wird. Bei SAE-Stufen 4 und 5 geht man von einer deutlich langsameren Entwicklung aus. Für Stufe 4 erwartet man die Serienreife um 2030 herum. Wie im vorherigen Abschnitt schon erwähnt, wird die Umsetzbarkeit von Stufe 5 debattiert [71].

Die Entwicklung von Stückzahlen ist schwer einzuschätzen, aber unter Berücksichtigung finanzieller Aspekte (insbesondere die Total Cost of Ownership bzw. Gesamtkosten des Betriebs (TCO)), ist zu erwarten, dass sich das automatisierte Fahren im NFZ-Segment und landwirtschaftlichen Maschinen, wie Traktoren, schneller durchsetzen wird als für PKW außerhalb des Premiumsegments.

Global betrachtet lag beim PKW die Anzahl der Neuzulassungen, die mindestens SAE-Stufe 1 hatten, bei 45 % in 2019 [75]. Zwar werden regional unterschiedliche Entwicklungen der Automatisierungsanteile erwartet (Abbildung 17), dennoch wird insgesamt ein langsames Wachstum auf globaler Ebene prognostiziert. 2025 werden in den Regionen EU, USA, China und Japan noch ein Großteil der Neuzulassungen mit Stufe 2 oder geringer ausgestattet sein. Stufe 3 wird nur einen kleinen Marktanteil aufweisen. Bis 2030 wird ein Wachstum von Stufe 3 erwartet und Stufe 4 wird zwar präsent sein, aber nur in sehr geringen Stückzahlen. Der gesamte Marktanteil von Stufen 3 und 4 wird in diesen Regionen im Durchschnitt unter 20 % liegen. Zwischen 2030 und 2035 werden die Anteile von Stufe 4 am stärksten wachsen, während für Stufe 3 nur mit einem geringen Wachstum zu rechnen ist. Auch wenn die Anteile von den SAE-Stufen 3 und höher bis 2035 deutlich zunehmen, werden Stufe 0 bis 2 die größten Stückzahlen aufweisen. Man geht davon aus, dass die Zahl der Fahrzeuge mit Stufe 5 sehr gering sein wird, falls Stufe 5 realisierbar ist, wie schon im vorherigen Kapitel besprochen wurde [76].

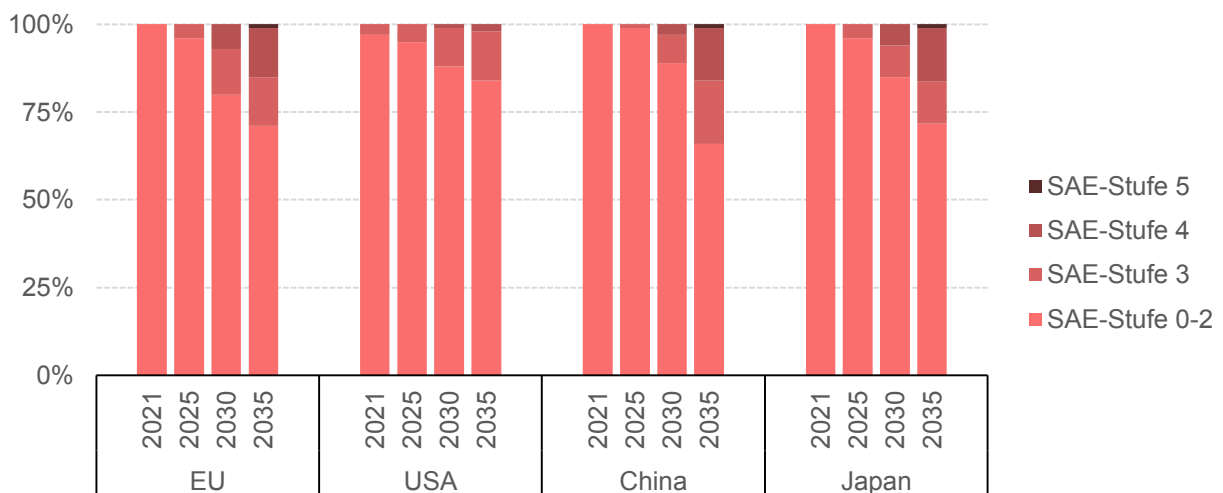


Abbildung 17: Entwicklung des PKW-Automatisierungsgrades bei Neuzulassungen [76]

Besonders bei schweren NFZ erwartet man eine andere Entwicklung als bei PKW, da hier auch finanzielle Betrachtungen eine wichtige Rolle spielen. TCO ist für Firmen eine entscheidende Größe bei der Wahl eines geeigneten NFZ. Die Automatisierung hat einen direkten Einfluss auf die TCO, der besonders deutlich wird, wenn keine menschlichen Fahrer für gewisse Fahrtätigkeiten erforderlich sind. Mit der Automatisierung der Fahrzeuge kann zum einen dem Arbeitskräftemangel entgegengewirkt und zum anderen können mit dem Einsatz automatisierter Fahrzeuge Gemeinkosten deutlich gesenkt werden. All dies führt dazu, dass durch die Automatisierung von Flotten eine Senkung des TCO möglich ist [77].

Die Implementation der automatisierten Funktion in NFZ wird etappenweise ablaufen. Prognosen gehen davon aus, dass Automatisierung das Platooning von Fahrzeugen unterstützt. In den Anfangsphasen muss noch in jedem Fahrzeug, trotz der Teilautomatisierung, ein Fahrer anwesend sein. In späteren Phasen wird nur noch ein Fahrer im führenden Fahrzeug benötigt werden. Ab 2027 ist dann mit vollautomatisiertem Betrieb zu rechnen. All diese Automatisierungsstufen der NFZ-Flotte beschränken sich auf den Autobahnbetrieb. Infrastrukturelle Konzepte wie 'Transfer Hubs', wo ein menschlicher Fahrer die 'letzte Meile' übernimmt und das System nur die leichten Strecken (sprich Autobahnfahrten) absolviert [77], sollen eine Umsetzung der Automatisierung von Flotten erleichtern.

## 7 Sonderfahrzeuge

Dieses Kapitel enthält Trends zukünftiger Entwicklungen von Traktoren und zweirädrigen Kraftfahrzeugen.

### 7.1 Traktoren

Im selben Maße, wie die Automobilindustrie, steht auch die Landwirtschaft vor einem tiefgreifenden Wandel. Es gibt zwei identifizierbare Megatrends die diesen Wandel definieren. Erster Trend ist der Antriebswandel hin zu effizienteren Motoren, mit denen versucht wird, die immer strenger werdenden Emissionsgesetze einzuhalten. Zweiter Trend bezieht sich auf die steigende Digitalisierung in der Landwirtschaft, mit der versucht wird die landwirtschaftlichen Ziele, wie hohe Flächenproduktivität und erhöhte Ressourceneffizienz, zu unterstützen.

Bei der Betrachtung der Verkaufszahlen (Berechnung basierend auf [78, 79, 80, 81], Abbildung 18) ist ein konstanter Trend in der Vergangenheit erkennbar, und Prognosen bestätigen diesen auch für die Zukunft. Bei der Unterteilung der Weltmarktanteile nach Regionen, wurden zwischen 2015 und 2017 mehr als 50 % aller Einheiten in China und Indien verkauft, während für Westeuropa in diesem Zeitraum der Anteil knapp unter 9 % lag [80]. Des Weiteren scheint der globale Leistungstrend in Richtung leistungsstärkerer Traktoren zu gehen, wie es z.B. in Indien [82] zu beobachten ist.

Heutzutage werden die Emissionen von Offroad-Maschinen, zu denen auch Traktoren zählen, von dem Emissionsstandard Stage V geregelt. Bei dieser Abgasnorm werden die Mengen für Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und Particulate Matter bzw. Feinstaub (PM) begrenzt [83]. Um diesen Gesetzmäßigkeiten nachzukommen, wurde neben der Weiterentwicklung des konventionellen Antriebs, auch in die Entwicklung alternativer Antriebe investiert.

Derzeit gibt es noch nicht die eine zukünftige Lösung für Traktoren, weswegen die Hersteller in mehreren Antriebstechnologien parallel forschen. Neben Antriebssystem, welche mit Erdgas oder alternativen Kraftstoffen, zu denen auch Wasserstoff (H<sub>2</sub>) zählt, verfolgen Hersteller auch elektrifizierte Antriebstechnologien. Hersteller wie John Deere und Fendt haben erste batterieelektrische Prototypen vorgestellt [84, 85], die jedoch zu den kleineren Traktoren zählen. Hier liegen auch die Grenzen der jetzigen Batterietechnologie, da eine Umsetzung für größere Traktoren deutlich schwerer zu bewerkstelligen ist. John De-

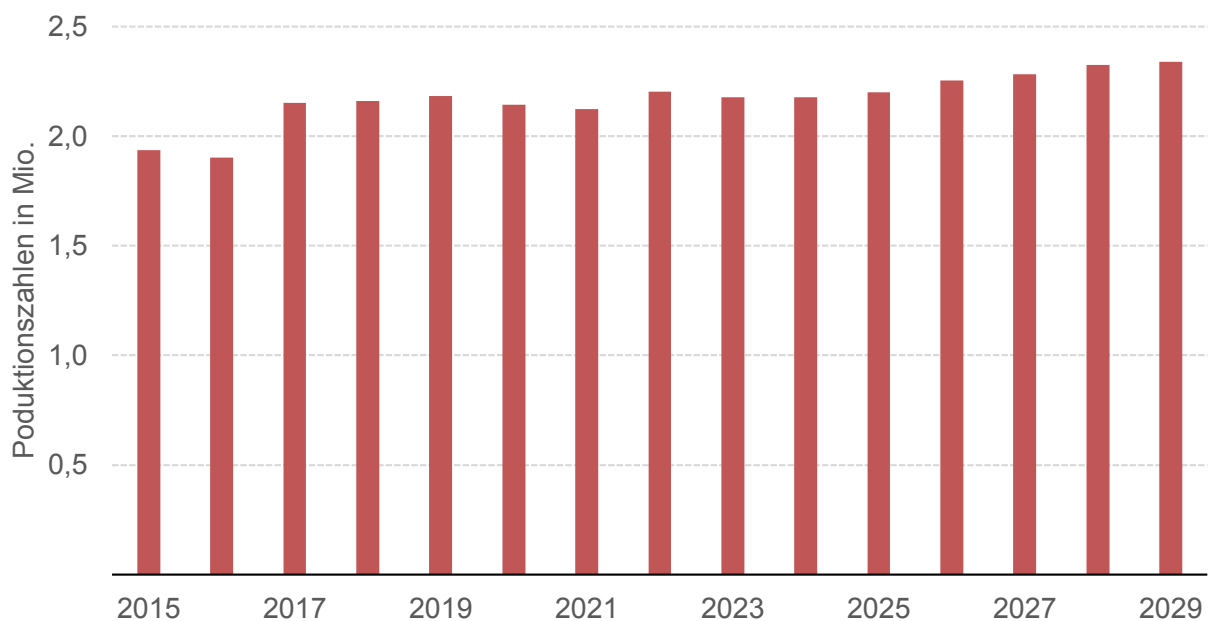


Abbildung 18: Globale Verkaufszahlen von Traktoren über die Jahre [78, 79, 80, 81]

ere hat hierzu Untersuchungen durchgeführt und ist zum Entschluss gekommen, dass die Größe der Batterie, um die gleiche Arbeit wie bei einem VKM-Traktor zu leisten, zu einer sehr großen Batterie führen würde. Dies ist zum einen mit sehr hohen Kosten verbunden und zum anderen wäre das hohe Gewicht in Bezug auf die Bodenverdichtung problematisch. Auch Ladezeiten wären entsprechend lang, was einen durchgehend Betrieb, der besonders durch Automatisierung gefördert wird, behindern würde. Daher ist davon auszugehen, dass sich der batterieelektrische Antrieb zuerst bei kleinen Traktoren mit ungefähr 75 kW durchsetzen wird [84]. Eine andere Antriebsmöglichkeit wäre Wasserstoff, der entweder als Verbrenner oder als Brennstoffzelle konfiguriert werden kann. Es wurden schon erste, serienreife H<sub>2</sub>-VKM vorgestellt [86], während Traktoren in der FCEV-Konfiguration zurzeit nur als Prototypen vorhanden sind [87].

Zum zukünftigen Antriebsmix können keine konkrete Aussagen gemacht werden, da es noch nicht eindeutig ist, welche Antriebsarten sich bis 2035 etablieren werden. Falls sich BEV-Traktoren durchsetzen sollten, dann ist es mit heutiger Technologie nur für kleinere Traktoren mit ungefähr 75 kW plausibel. Für größere Traktoren wird entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik Wasserstoff als Alternative erwartet.

Der zweite Megatrend in der Landwirtschaft ist der steigende Grad der Digitalisierung, was des öfteren durch Stichworte wie Präzisionslandwirtschaft, Smart Farming oder Landwirtschaft 4.0 betitelt wird. Die steigende Digitalisierung bei landwirtschaftlichen Maschinen bringt die Aspekte Automation und Präzision mit sich [88]. Der Einsatz modernster Tech-

nologie, wie KI in Kombination mit Machine Learning, nimmt eine wichtige Rolle ein, da präzisere Arbeit verrichtet werden kann und dementsprechend ressourcenschonend ist. Ein effektiver Einsatz dieser Technologien erfordert die Vernetzung von Maschinen und Geräten untereinander. Dadurch können eine Vielzahl an Abläufen weitgehend automatisiert werden, wodurch die Arbeitskraftkosten sinken. Auch werden durch die Digitalisierung Verwaltungs- und Managementaufwand reduziert [89].

## 7.2 Motorräder

Auch die Motorradindustrie steht vor einer Herausforderung, die durch die immer strenger werdenden Emissionsgesetze bedingt ist und dementsprechend die Hersteller zu einer Anpassung des Antriebstranges zwingt. Für diese Klasse ist der deutlichste Trend die Umsetzung des batterieelektrischen Antriebs, wobei auch andere alternative Antriebsarten erforscht werden.

Eine globale Betrachtung des Motorradmarktes nach Hubraum zeigt auf, dass mit 80 % der größte Marktanteil den Motorräder mit mehr als 50 cm<sup>3</sup> zugeordnet werden kann. Die restlichen Marktanteile entfallen auf alle zweirädrigen Kraftfahrzeuge mit Hubraum unter 50 cm<sup>3</sup> (auch als Mopeds bezeichnet), ATV, usw. [90]. In Hinblick auf die Motorisierung gibt es regionale Unterschiede, besonders in Abhängigkeit vom Verwendungszweck. In Europa und Nordamerika werden Motorräder eher im Freizeitbereich eingesetzt, während in Asien das Motorrad als Fortbewegungsmittel dient. Eine Betrachtung der globalen Stückzahlen für zweirädrige Kraftfahrzeuge mit mehr als 50 cm<sup>3</sup> zeigt, dass die Stückzahlen über die Jahre konstant geblieben sind. Prognosen gehen aber aufgrund wirtschaftlicher Entwicklungen in Asien, der mit Abstand der größte Markt für zweirädrige KFZ ist, von einem Stückzahlwachstum aus (Abbildung 19) [91]. Der Einfluss der Pandemie im Jahre 2020 ist in den globalen Stückzahlen ersichtlich, aber der verzeichnete Einbruch fiel deutlich geringer aus als bei PKW und LNF. In Europa wurde in dieser Zeit sogar ein Anstieg bei den Verkaufszahlen registriert [92].

Motorradhersteller werden mit dem bevorstehenden Elektromobilitätswandel vor eine Herausforderung gestellt. Zurzeit ist einer der führenden alternativen Antriebe beim Motorrad die batterieelektrische Variante. Ein interessantes Vorkommnis hier ist, dass das Marktsegment der Motorradklasse L3e hauptsächlich von Start-Ups dominiert wird. Unter den namhaften Herstellern hat keiner, bis auf Harley-Davidson [93], ein elektrisches Motorrad in dieser Klasse. Da Motorräder deutlich geringeren Platz für das Unterbringen einer Bat-

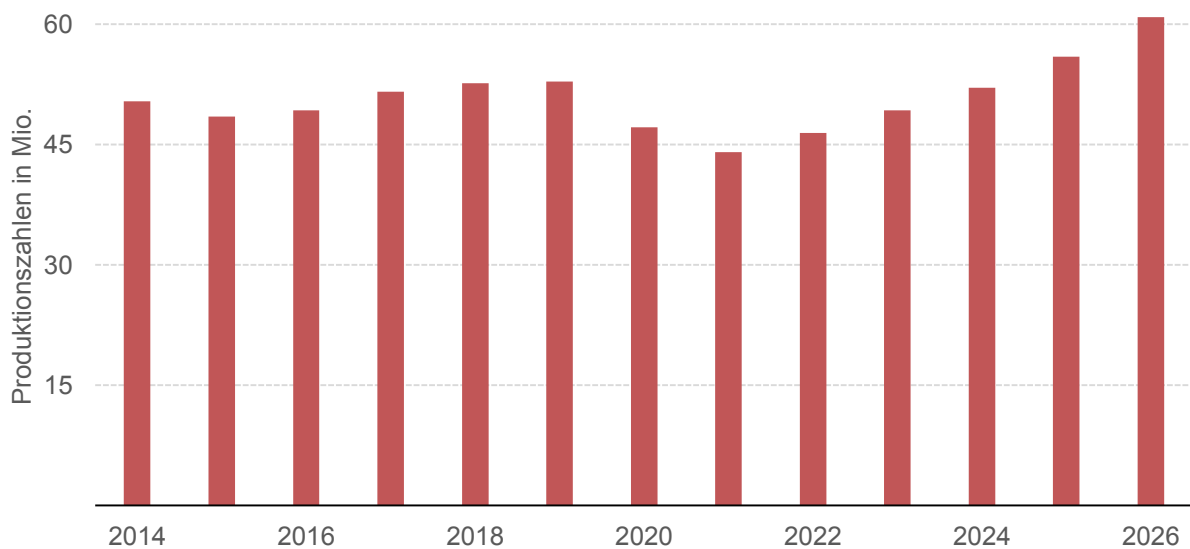


Abbildung 19: Globale Verkaufsprgnose für Motorräder über 50cm<sup>3</sup> [91]

terie bereitstellen, sind hier die Dimensionen dieser auf kleine Kapazitäten beschränkt. Neben den hohen Kosten für Batterien, führt dies zu einer Einschränkung der Reichweite im Vergleich zu den VKM äquivalenten Modellen. Um dem entgegenzuwirken, werden zurzeit auch HEV bzw. PHEV-Konfigurationen erforscht [94, 95]. Motorräder der Klasse L1e sind mit diesen Restriktionen deutlich weniger konfrontiert. Es gibt bereits serienmäßig verfügbare elektrische Motorfahräder, die mit VKM-Motorfahrrädern, sowohl preislich als auch reichweitenmäßig, konkurrieren können. Andere alternative Antriebe werden zurzeit noch für beide Motorradklassen erforscht. Einer dieser ist die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff, wobei hier sowohl Brennstoffzellen- [96] als auch Verbrennungsmotorkonfiguration [95] in Frage kommen. Dass diese Industrie vor einem Umbruch steht, sieht man auch an der Zahl an Kooperationen, die konkurrierende Hersteller in letzter Zeit eingegangen sind [97, 98].

Eine Einschätzung des zukünftigen globalen Antriebsmix für Motorräder der Klasse L3e ist mit einer großen Unsicherheit verbunden, da zurzeit fast keine namhaften Hersteller in dieser Klasse ein Modell mit alternativen Antrieb anbieten. Zwar wurden in jüngster Zeit zahlreiche BEV- und PHEV-Modelle in der L3e-Klasse angekündigt, bisher wurden aber noch keine konkreten Modelle vorgestellt. Für zweirädrige Kraftfahrzeuge der Klasse L1e ist der elektrische Antrieb mit hoher Wahrscheinlichkeit zukünftig die primäre Antriebsart.



## 8 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war die Durchführung einer technologischen Analyse und die Bestimmung der Veränderung der Komponentenkosten von elektrifizierten Antriebssystemen bis 2035. Grundlage war die Methodik aus der Vorgängerstudie, die auch entsprechend für die Betrachtung der NFZ Klassen angepasst wurde. Auch war das Ziel eine qualitative Analyse von Sonderfahrzeugen (Traktoren) und zweirädrigen Kraftfahrzeugen durchzuführen, sowie den Trend des automatisierten Fahrens zu berücksichtigen.

In Stückzahlprognosen wird erwartet, dass das Vorkrisenniveau von 2018 von PKW und LNF mit heutiger Wachstumsrate vor 2030 wieder erreicht sein wird. Des Weiteren vermutet man, dass bis 2035 die Produktionsstückzahlen im Bereich von 100 Millionen Stück liegen werden. Bei mittleren NFZ der Klasse N2 wird bis 2035 eine Verdoppelung der globalen Stückzahlen erwartet. Auch bei den schweren NFZ der Klasse N3 ist mit einem Wachstum zu rechnen, wobei dies nicht so stark ausfallen wird wie bei den mittleren NFZ. Insgesamt wird für alle Kraftfahrzeugklassen davon ausgegangen, dass die globalen Stückzahlen ansteigen werden.

Bis 2035 gehen Prognosen davon aus, dass VKM für die Klassen PKW und LNF unter den Antriebsarten auf die zweite Stelle fallen wird. Mit ca. 38 % Marktanteil wird BEV die global dominante Antriebsvariante für diese Klassen darstellen. Fasst man die Marktanteile von HEV und PHEV mit denen von VKM zusammen, dann werden bis 2035 in noch ca. 60 % aller Fahrzeuge VKM verbaut sein. Bei den mittleren NFZ bleibt bis 2035 VKM die dominante Antriebsvariante, aber BEV weist eine starke Entwicklung auf. HEV wird für diese Klasse mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bis 2035 keine Rolle spielen. PHEV und FCEV werden nur in gerigen Stückzahlen vorhanden sein. Auch bei den schweren NFZ der Klasse N3 wird VKM die dominante Antriebsvariante bleiben. An zweiter Stelle stehen BEV und FCEV. Von beiden Antriebsarten in dieser Klasse ist ein starkes Wachstum zu erwarten. PHEV bleiben auch in dieser Klasse in der untergeordneten Rolle und HEV wird nicht relevant sein. Obwohl bei alternativen Antrieben einen starker Zuwachs bei den Marktanteilen erwartet wird, bleibt bis 2035 VKM, mit Berücksichtigung der Hybridvarianten, die dominante Antriebsvariante.

Recherchen der Kosten haben ergeben, dass in allen Klassen für VKM mit einem leichten Kostenanstieg von ein paar Prozent gegenüber den heutigen Kosten gerechnet wird. Auch bei den PHEV-Varianten des PKW und LNF wird eine Kostensteigerung im Bereich von 10 % vorausgesagt. Dieser ist zum einen auf die Kostenerhöhung des VKM, aber hauptsäch-

lich auf die zunehmende Batteriegröße zurückzuführen. Für mittlere und schwere NFZ in der PHEV-Konfiguration wird eine Kostensenkungen von ungefähr 10 % erwartet, da sich die Konfigurationen über die Jahren nur gering ändern. Die Erwartungen für BEV legen in fast allen Fahrzeugklassen eine Reduktion der Herstellungskosten nahe, außer bei mittleren NFZ der Klasse N2, wo aufgrund der erheblichen Spezifikationsanpassungen ein deutlicher Kostenanstieg vorausgesagt wird. Bei FCEV ist in allen Fahrzeugklassen mit einer Kostensenkung zwischen 18 % und 29 % zu rechnen. Insgesamt bieten die alternativen Antriebe in fast allen Klassen erhebliches Kostensenkungspotential an.

Automatisiertes Fahren ist eine Thematik mit der sich viele Hersteller heutzutage auseinandersetzen, da es ein sehr hohes Potential bei der Wertschöpfung aufweist. Anfangs wurde die Entwicklungsgeschwindigkeit des automatisierten Fahrens mit viel Optimismus gesehen. Die letzten Jahre haben aber gezeigt, dass diese Einschätzungen nicht realistisch waren. Assistenzsysteme, bei denen noch der menschliche Fahrer für die gesamte Fahrtätigkeit verantwortlich ist, sind im kommen und bis 2035 wird vermutlich der größte Anteil von Neuzulassungen mit diesen ausgeliefert. Neben den gesetzlichen Hürden, sind Hersteller auch mit technischen konfrontiert. Zum einen sind diese finanzieller Natur, da gewissen Sensoren noch zu teuer für den Massenmarkt sind, und zum anderen geht es um die Komplexität der Software, die auch die Machbarkeit der SAE-Stufe 5 infrage stellt. Auch Softwarekosten werden in der Fahrzeugherstellung einen immer größeren Stellenwert annehmen, die durch den steigenden Grad der Automatisierung befeuert werden. Da Automatisierung von NFZ und Traktoren mit Kostenvorteilen für Flottenbetreiber verbunden ist, wird erwartet, dass sich die Serienreife der Automatisierung für diese Klassen anders entwickeln wird als in der PKW-Klasse außerhalb des Premiumsegments. Prinzipiell befindet sich das automatisierte Fahren erst in den Anfangsphasen, aber es wird dennoch von einem großen Strukturwandel in der Fahrzeugherstellung ausgegangen.

Bei Traktoren wird zurzeit noch sehr viel erforscht und es kann noch keine eindeutige Entwicklungsrichtung bei den Antriebsarten definiert werden. Zurzeit gibt es in der landwirtschaftlichen Industrie zwar Ansätze für eine klimafreundlichere Gestaltung von Traktoren, die sich aber noch in der Entwicklungsphase befinden. BEV erweist sich bei großen Traktoren als schwierig umsetzbar, da hier für viele Großtraktortätigkeiten sehr große Batterien erforderlich wären. Falls sich BEV durchsetzen sollte, wird dies eher bei kleineren Traktoren bis 75kW erwartet. FCEV bietet aufgrund des deutlich geringeren Gewichts im Vergleich zu Batterien eine plausible Option. Die Chancen einer Umsetzung sind schwer einzuschätzen, da zurzeit nur Prototypen vorhanden sind und hier auch der Infrastruktur eine entscheidende Rolle zukommt. Ein anderer Ansatz ist die Wasserstoff-VKM-Konfiguration.

Hier gibt es schon die ersten serienreifen Motoren, die sich aber noch nicht im Einsatz befinden. Ein weiterer prominenter Trend bei den Traktoren ist die Digitalisierung. Dieser wird oft mit den Begriffen Landwirtschaft 4.0, Smart Farming oder Precision Farming in Verbindung gebracht. Hauptziel ist dabei die Landwirtschaft durch Einsatz von präziseren Methoden effizienter zu machen, klimafreundlicher zu gestalten und nebenbei Betriebskosten zu sparen.

Bei den Motorrädern wird ein Wandel in Richtung Elektromobilität erwartet, da hier die Industrie mit gesetzlichen Änderungen konfrontiert ist. Für kleinere zweirädrige Kraftfahrzeuge der Kategorie L1e gibt es durchaus schon elektrifizierte Alternativen zu den VKM-Modellen, die sowohl aus preislicher Sicht als auch bei der Bedarfsabdeckung konkurrieren können. Bei größeren Motorrädern der Klasse L3e ist dies nicht der Fall. Zurzeit sind elektrische Motorräder die am weitesten verbreitete alternative Antriebsart, sind aber mit zwei wesentlichen Nachteilen behaftet. Zum einen kosten sie deutlich mehr und zum anderen fehlt es zurzeit an einer vergleichbaren Reichweite. Von fast keinem namhaften Hersteller wird in dieser Klasse ein Motorrad mit alternativem Antrieb angeboten. In diesem Markt sind hauptsächlich Start-Ups vertreten. Es gibt für die kommenden Jahre zwar schon viele Modellankündigungen von etablierten Herstellern für Motorräder mit alternativen Antrieben, aber bis dato gibt es keine konkreten Modelle. Die Anzahl der Kooperationen, die von Herstellern eingegangen werden, kann aber durchaus als Zeichen eines kommenden Wandels gewertet werden.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die österreichische Automobilindustrie einem Wandel bevorsteht, der nicht unterschätzt werden darf. Zwar ist beim klassischen VKM mit Einbußen bei PKW und NFZ zu rechnen, wird aber dennoch eine große Rolle im globalen Feld beibehalten. Bei den alternativen Antrieben werden voraussichtlich BEV den größten Marktanteilgewinn verzeichnen können. Bei Traktoren ist zurzeit keine definitive Entwicklungsrichtung ersichtlich. Kleine Motorräder der Klasse L1e neigen in Richtung elektrifizierten Antrieb, während Motorräder der Klasse L3e zwar auch in diese Richtung neigen, aber eventuell sich andere Antriebe eher durchsetzen können. Auch durch die steigende Automatisierung ist mit einer Verschiebung bei der Kostenstruktur zu rechnen. Unabhängig welche Technologien sich durchsetzen werden, der Wandel, dem die österreichische Automobilindustrie bevorsteht, ist unumgänglich.

## 9 Ausblick

Im Rahmen dieser Studie wurde eine vertiefte Kostenanalysen nur für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge durchgeführt. Eine Erweiterung dieser Kostenanalyse auf weitere Fahrzeugklassen, wie landwirtschaftliche Maschinen und zweirädrige Kraftfahrzeuge, wäre sinnvoll, da auch diese von wirtschaftlich großer Bedeutung sind.

In diesem Zusammenhang wäre auch eine Berücksichtigung der infrastrukturellen Entwicklung und der Einsatz von alternativen Kraftstoffen, sowie die Einbindung von Life Cycle Assessments (LCA) vorteilhaft. Dies hätte bei Entscheidung von Förderungen eine unterstützende Wirkung. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich auch beim automatisierten Fahren und anderen Mobilitätsphänomenen. Expertenmeinungen legen nahe, dass diese einen gravierenden Strukturwandel in der Automobilindustrie hervorrufen können, der vom Antriebswandel weitestgehend unabhängig ist, weshalb ihrer Untersuchung eine umso größere Bedeutung zukommt.

Der bevorstehende Wandel besteht aus vielen Aspekten die noch erforscht werden können und müssen. Wichtig ist es, das alle Aspekte, die für die österreichische Automobilindustrie eine Herausforderung sind, auf wissenschaftlich fundierter Basis bewertet werden. Dies würde sowohl Staat als auch Hersteller besser bei finanziellen und technologischen Entscheidungen unterstützen und die Zukunft der österreichischen Automobilindustrie sichern.

## Literatur

- [1] C2ES. Website: [www.c2es.org](http://www.c2es.org), [Online]. '*International Emissions*'. URL: <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>. (Zugriff am: 10.06.2022).
- [2] Global Carbon Atlas. Website: [www.globalcarbonatlas.org](http://www.globalcarbonatlas.org), [Online]. '*CO2 Emissions*'. URL: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>. (Zugriff am: 10.06.2022).
- [3] The ICCT. Website: [theicct.org](http://theicct.org), [Online]. '*International Emissions*'. URL: <https://theicct.org/transport-could-burn-up-the-eus-entire-carbon-budget/>. (Zugriff am: 10.06.2022).
- [4] European Environment Agency (EEA), European Environment Information and Observation Network (Eionet). Website: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu), [Online]. '*EEA greenhouse gases - data viewer*'. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/data-and-maps/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [5] VCÖ - Verkehrsclub Österreich. Website: [www.vcoe.at](http://www.vcoe.at), [Online]. '*Verkehr ist mit Abstand Österreichs größtes Klimaschutz-Problem*'. URL: <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/vcoe-verkehr-ist-mit-abstand-oesterreichs-groesstes-klimaschutz-problem>. (Zugriff am: 08.06.2022).
- [6] World Resources Institute. Website: [www.wri.org](http://www.wri.org), [Online]. '*This Interactive Chart Shows Changes in the World's Top 10 Emitters*'. URL: <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [7] TRUE — The Real Urban Emissions Initiative FIA Foundation. Website: [www.trueinitiative.org](http://www.trueinitiative.org), [Online]. '*Pollutant emissions from mopeds, motorcycles, and other L-category vehicles in Paris*'. URL: [https://www.trueinitiative.org/media/790739/true\\_paris\\_rs\\_report\\_0905019.pdf](https://www.trueinitiative.org/media/790739/true_paris_rs_report_0905019.pdf). (Zugriff am: 01.07.2022).
- [8] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Website: [www.bmk.gv.at](http://www.bmk.gv.at), [Online]. '*Monitoringbericht zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen neu zugelassener Pkw in Österreich im Jahr 2020 - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie*'. URL: [https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/co2\\_monitoring/pkw.html](https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/co2_monitoring/pkw.html). (Zugriff am: 01.07.2022).

- [9] ACEA - l'Association des Constructeurs Européens d'Automobiles. Website: [www.acea.auto](http://www.acea.auto), [Online]. '*Interactive map – CO2 emissions from new passenger cars in the EU, by country*'. URL: <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-co2-emissions-from-new-passenger-cars-in-the-eu-by-country/>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [10] European Environment Agency. Website: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu), [Online]. '*Specific CO2 emissions per tonne-km and per mode of transport in Europe*'. URL: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2#tab-chart\\_1](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/specific-co2-emissions-per-tonne-2#tab-chart_1). (Zugriff am: 08.06.2022).
- [11] European Environment Agency. Website: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu), [Online]. '*Transport and environment report 2021 Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand*'. URL: [https://www.eea.europa.eu/ds\\_resolveuid/f4e79b4d005d4bdc86f9ac8cec1eb49e](https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/f4e79b4d005d4bdc86f9ac8cec1eb49e). (Zugriff am: 08.06.2022).
- [12] Europäisches Parlament. „VERORDNUNG (EU) 2019/631 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011“. In: (2019). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0631>.
- [13] European Parliament. „REGULATION (EU) 2019/1242 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 June 2019 setting CO 2 emission performance standards for new heavy-duty vehicles and amending Regulations (EC) No 595/2009 and (EU) 2018/956 of the European Parliament and of the Council and Council Directive 96/53/EC“. In: (2019). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1242>.
- [14] Vereinigung der Österreichischen Industrie (Industriellenvereinigung). „DIE ÖSTERREICHISCHE FAHRZEUGINDUSTRIE: Innovativ, Technologieoffen & Nachhaltig“. In: (2021). URL: <https://www.iv.at/-Dokumente-/Publikationen/202105-fahrzeugindustrie.pdf>.
- [15] CON-LABOUR. Website: [con-labour.at](http://con-labour.at), [Online]. '*Die österreichische Autoindustrie*'. URL: <https://con-labour.at/home/oesterreichische-autoindustrie/>. (Zugriff am: 09.06.2022).
- [16] Fachverband der Fahrzeugindustrie Österreichs. „Beschäftigte rund um das Automobil“. In: *Statistik Jahrbuch 2022 – Fachverband der Fahrzeugindustrie* (2022).

- URL: [https://www.fahrzeugindustrie.at/fileadmin/content/Zahlen\\_\\_\\_Fakten/Statistikjahrbuch/Seite5.7.pdf](https://www.fahrzeugindustrie.at/fileadmin/content/Zahlen___Fakten/Statistikjahrbuch/Seite5.7.pdf).
- [17] Wirtschaftskammer Österreich. „ÖSTERREICHS INDUSTRIE KENNZAHLEN 2018 - Mai 2018“. In: *WKO - Die Industrie* (2018). URL: [https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2018/pdf/GESAMT\\_1-48.pdf](https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2018/pdf/GESAMT_1-48.pdf).
- [18] Wirtschaftskammer Österreich. „ÖSTERREICHS INDUSTRIE KENNZAHLEN 2019 - Mai 2019“. In: *WKO - Die Industrie* (2019). URL: [https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2019/pdf/GESAMT\\_1-48.pdf](https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2019/pdf/GESAMT_1-48.pdf).
- [19] Wirtschaftskammer Österreich. „ÖSTERREICHS INDUSTRIE KENNZAHLEN 2020 - Juni 2020“. In: *WKO - Die Industrie* (2020). URL: [https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2020/pdf/GESAMT\\_1-48.pdf](https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2020/pdf/GESAMT_1-48.pdf).
- [20] Wirtschaftskammer Österreich. „ÖSTERREICHS INDUSTRIE KENNZAHLEN 2021 - Juni 2021“. In: *WKO - Die Industrie* (2021). URL: [https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2021/pdf/GESAMT\\_1-48.pdf](https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2021/pdf/GESAMT_1-48.pdf).
- [21] Wirtschaftskammer Österreich. „ÖSTERREICHS INDUSTRIE KENNZAHLEN 2022 - Juni 2022“. In: *WKO - Die Industrie* (2022). URL: [https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2022/pdf/GESAMT\\_1-48.pdf](https://www.wiengrafik.at/wko/kennzahlen2022/pdf/GESAMT_1-48.pdf).
- [22] oesterreich.gv.at. Website: [www.oesterreich.gv.at](http://www.oesterreich.gv.at), [Online]. 'Fahrzeugklassen'. URL: [https://www.oesterreich.gv.at/themen/freizeit\\_und\\_strassenverkehr/kfz/Seite.061800.html](https://www.oesterreich.gv.at/themen/freizeit_und_strassenverkehr/kfz/Seite.061800.html). (Zugriff am: 01.06.2022).
- [23] OICA - International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. Website: [www.oica.net](http://www.oica.net), [Online]. 'Production Statistics'. URL: <https://www.oica.net/production-statistics/>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [24] Bloomberg. Website: [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com), [Online]. 'At Least Two-Thirds of Global Car Sales Will Be Electric by 2040'. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-08-09/at-least-two-thirds-of-global-car-sales-will-be-electric-by-2040#xj4y7vzkg>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [25] LMC Automotive. Website: [lmc-auto.com](http://lmc-auto.com), [Online]. 'Global Light Vehicle Powertrain Briefing All'. URL: <https://lmc-auto.com/wp-content/uploads/2020/10/LMC-Automotive-Global-Light-Vehicle-Powertrain-Briefing-All-slides-October-2020.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [26] ABB. Website: [campaign.abb.com](http://campaign.abb.com), [Online]. 'Electric Vehicle Battery Supply Chain Report - How Battery Demand and Production are Reshaping the Automotive Industry'. URL: <https://campaign.abb.com/1/501021/2021-03-25/t1m6fx>. (Zugriff am: 01.08.2022).

- [27] BloombergNEF. Website: [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com), [Online]. '*BloombergNEF's global EV outlook 2021: Commercial vehicles*'. URL: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/bloombergnefs-global-ev-outlook-2021-commercial-vehicles/>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [28] Deloitte. Website: [www2.deloitte.com](http://www2.deloitte.com), [Online]. '*Electric vehicles - Setting a course for 2030*'. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [29] Fitch Solutions. Website: [www.fitchsolutions.com](http://www.fitchsolutions.com), [Online]. '*Global Autos Forecast Scenario*'. URL: <https://www.fitchsolutions.com/autos/global-autos-forecast-scenario-08-07-2021>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [30] IEA - International Energy Agency. Website: [www.iea.org](http://www.iea.org), [Online]. '*Global EV sales by scenario, 2020-2030*'. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-ev-sales-by-scenario-2020-2030>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [31] Morgan Stanley. Website: [www.morganstanley.com](http://www.morganstanley.com), [Online]. '*Legacy Automakers Gear Up to Go Electric*'. URL: <https://www.morganstanley.com/ideas/legacy-automakers-electric-vehicles>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [32] BCG - Boston Consulting Group. Website: [www.bcg.com](http://www.bcg.com), [Online]. '*Why Electric Cars Can't Come Fast Enough*'. URL: <https://www.bcg.com/de-de/publications/2021/why-evs-need-to-accelerate-their-market-penetration#-0>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [33] IEA - International Energy Agency. Website: [www.iea.org](http://www.iea.org), [Online]. '*Electric vehicle share of vehicle sales by mode and scenario in Europe, 2030*'. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-vehicle-share-of-vehicle-sales-by-mode-and-scenario-in-europe-2030>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [34] IEA - International Energy Agency. Website: [www.iea.org](http://www.iea.org), [Online]. '*Global EV Outlook 2022 - Securing supplies for an electric future*'. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/e0d2081d-487d-4818-8c59-69b638969f9e/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [35] McKinsey & Company. Website: [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com), [Online]. '*The electric-vehicle outlook is stronger in China and Europe than in the United States*'. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/coronavirus-leading-through-the-crisis/charting-the-path-to-the-next-normal/the-electric-vehicle-outlook-is-stronger-in-china-and-europe-than-in-the-united-states>. (Zugriff am: 01.08.2022).



- [36] LMC Automotive. Website: lmc-auto.com, [Online]. '*Electrification - Global Hybrid & Electric Vehicle Forecast*'. URL: <https://lmc-auto.com/wp-content/uploads/2019/01/LMC-Electrification-Presentation-January-2019.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [37] BCG - Boston Consulting Group. Website: www.bcg.com, [Online]. '*Electric Cars Are Finding Their Next Gear*'. URL: <https://www.bcg.com/publications/2022/electric-cars-finding-next-gear>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [38] Strategy& - Part of the PwC Network. Website: clepa.eu, [Online]. '*Electric Vehicle Transition Impact Assessment Report 2020 - 2040 A quantitative forecast of employment trends at automotive suppliers in Europe*'. URL: <https://clepa.eu/wp-content/uploads/2021/12/Electric-Vehicle-Transition-Impact-Report-2020-2040.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [39] Citi GPS. Global Perspectives & Solutions Website: www.motus-e.org, [Online]. '*ELECTRIC VEHICLES Ready(ing) for Adoption*'. URL: <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2018/09/citigroup.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [40] Delta Energy & Environment Ltd. Website: evmarketsreports.com [Online]. '*EV Forecasts: 84 million EVs on European roads by 2030*'. URL: <https://evmarketsreports.com/wp-content/uploads/database-european-ev-chargepoint-forecasts.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [41] Consultancy.eu. Website: www.consultancy.eu, [Online]. '*Europe's electric vehicles fleet to reach 40 million by 2030*'. URL: <https://www.consultancy.eu/news/5766/europes-electric-vehicles-fleet-to-reach-40-million-by-2030>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [42] The ICCT. Website: theicct.org, [Online]. '*2021: Another chapter in the global race towards electrification*'. URL: <https://theicct.org/2021-global-race-evs-mar22/>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [43] IEA - International Energy Agency. Website: www.iea.org, [Online]. '*Global EV Data Explorer*'. URL: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [44] Statista und Market Research Future. Website: www.statista.com, [Online]. '*Projections for the electric truck market volume worldwide between 2018 and 2026, by type*'. URL: <https://www.statista.com/statistics/1273791/electric-truck-worldwide-market-forecast-by-type/>. (Zugriff am: 01.08.2022).

- [45] Strategy& - Part of the PwC Network. Website: [www.strategyand.pwc.com](http://www.strategyand.pwc.com), [Online]. *Making zero-emission trucking a reality Truck Study 2020: Routes to decarbonizing commercial vehicles*. URL: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/transport/green-trucking-2020/truck-study-2020.pdf>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [46] Automotive World. Website: [www.automotiveworld.com](http://www.automotiveworld.com), [Online]. *The timeline to commercial vehicle electrification: hard stop 2050?* URL: <https://www.automotiveworld.com/articles/the-timeline-to-commercial-vehicle-electrification-hard-stop-2050/>. (Zugriff am: 01.08.2022).
- [47] Shell. Website: [www.shell.com](http://www.shell.com), [Online]. *Decarbonising Road Freight: GETTING INTO GEAR*. URL: [https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-road-freight-getting-into-gear/\\_jcr\\_content.stream/1617804891378/3efb462f0ef05d4273d2eda5339d510c9%201ee1cde/decarbonising-road-freight-industry-report.pdf](https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-road-freight-getting-into-gear/_jcr_content.stream/1617804891378/3efb462f0ef05d4273d2eda5339d510c9%201ee1cde/decarbonising-road-freight-industry-report.pdf). (Zugriff am: 08.06.2022).
- [48] Maybodi, S.; Bogdanov, D. „Global Transportation Demand Development with Impacts on the Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions in a Climate-Constrained World“. In: *Energies, Volume 12, Ausgabe 20, Artikel 3870* (2019).
- [49] Mercedes Benz AG. Website: [www.mercedes-benz.at](http://www.mercedes-benz.at), [Online]. *'Der neue CLA: Preisliste'*. URL: <https://www.mercedes-benz.at/content/dam/austria/passengercars/pricelists-austria/CLA-und-CLS/Mercedes-Benz-Preisliste-CLA-Coupe-Shooting%20Brake-CX118.pdf>. (Zugriff am: 01.04.2022).
- [50] BMW AG. Website: [www.bmw.at](http://www.bmw.at), [Online]. *'BMW X3 Preisliste'*. URL: [https://www.bmw.at/content/dam/bmw/marketAT/bmw\\_at/topics/pricelists-brochures/pricelists/BMW\\_X3.pdf.asset.1652961777416.pdf](https://www.bmw.at/content/dam/bmw/marketAT/bmw_at/topics/pricelists-brochures/pricelists/BMW_X3.pdf.asset.1652961777416.pdf). (Zugriff am: 01.05.2022).
- [51] Volkswagen AG. Website: [cdn.volkswagen.at](http://cdn.volkswagen.at), [Online]. *'Der ID.3: Preisliste'*. URL: [https://cdn.volkswagen.at/media/Kwc\\_Basic\\_DownloadTag\\_Component/61109-paragraphs-743170-text-d5/default/5f3604ba/1642010575/id3-verkaufsunterlage.pdf](https://cdn.volkswagen.at/media/Kwc_Basic_DownloadTag_Component/61109-paragraphs-743170-text-d5/default/5f3604ba/1642010575/id3-verkaufsunterlage.pdf). (Zugriff am: 01.04.2022).
- [52] Toyota Motor Corporation. Website: [www.toyota.at](http://www.toyota.at), [Online]. *'Toyota Mirai Datenblatt'*. URL: [https://www.toyota.at/download/cms/atde/WEB\\_PL\\_MIRAI\\_210701\\_tcm-3041-2331070.pdf](https://www.toyota.at/download/cms/atde/WEB_PL_MIRAI_210701_tcm-3041-2331070.pdf). (Zugriff am: 01.04.2022).
- [53] Daimler Trucks AG. Website: [www.mercedes-benz-trucks.com](http://www.mercedes-benz-trucks.com), [Online]. *'MotorLeistungsdaten – OM 936'*. URL: [https://www.mercedes-benz-trucks.com/content/dam/mbo/markets/de\\_DE/models/the-actros/technical-data/engine-performance-data/pdf/OM936.pdf](https://www.mercedes-benz-trucks.com/content/dam/mbo/markets/de_DE/models/the-actros/technical-data/engine-performance-data/pdf/OM936.pdf). (Zugriff am: 01.06.2022).

- [54] QUANTRON AG. Website: [www.quantron.net](http://www.quantron.net), [Online]. '*QLIH 4-20/ QLIH 7-29*'. URL: [https://www.quantron.net/wp-content/uploads/2020/05/Quantron\\_Datenblatt-QLIH-4-20\\_-QLIH-7-29.pdf](https://www.quantron.net/wp-content/uploads/2020/05/Quantron_Datenblatt-QLIH-4-20_-QLIH-7-29.pdf). (Zugriff am: 01.03.2022).
- [55] Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corporation. Website: [www.fuso-trucks.at](http://www.fuso-trucks.at), [Online]. '*Eine saubere Sache: die Motoren des Canter*'. URL: <https://www.fuso-trucks.at/content/eu/austria/de/modelle/technische-highlights/motoren.html>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [56] FuelCellTrucks. Website: [fuelcelltrucks.eu](http://fuelcelltrucks.eu), [Online]. '*MITSUBISHI: 150 eCanter F-CELL trucks in Japan, Europe and the U.S.*' URL: <https://fuelcelltrucks.eu/project/mitsubishi-150-ecanter-f-cell-trucks-in-japan-europe-and-the-u-s/>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [57] Daimler Trucks AG. Website: [www.mercedes-benz-trucks.com](http://www.mercedes-benz-trucks.com), [Online]. '*Motor-Leistungsdaten – OM 470, 2. Generation*'. URL: [https://www.mercedes-benz-trucks.com/content/dam/mbo/markets/de\\_DE/models/the-actros/technical-data/engine-performance-data/pdf/OM470-2-Generation.pdf](https://www.mercedes-benz-trucks.com/content/dam/mbo/markets/de_DE/models/the-actros/technical-data/engine-performance-data/pdf/OM470-2-Generation.pdf). (Zugriff am: 01.06.2022).
- [58] Springer Professional. Website: [www.springerprofessional.de](http://www.springerprofessional.de), [Online]. '*Scania stellt Hybrid- und batterieelektrischen Lkw vor*'. URL: <https://www.springerprofessional.de/nutzfahrzeuge/hybridtechnik/scania-stellt-hybrid--und-batterieelektrischen-lkw-vor/18627588>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [59] Freightliner Trucks. Website: [freightliner.com](http://freightliner.com), [Online]. '*eCascadia Specifications*'. URL: <https://freightliner.com/trucks/ecascadia/specifications/>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [60] electrive.net. Website: [www.electrive.net](http://www.electrive.net), [Online]. '*Daimlers GenH2 Truck: Künftiges H2-Koloss im Fernverkehr*'. URL: <https://www.electrive.net/2021/06/22/daimlers-genh2-truck-kuenftiges-h2-koloss-im-fernverkehr/>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [61] SAE International. „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - J3016“. In: (2021). URL: [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/).
- [62] IEEE. Website: [spectrum.ieee.org](http://spectrum.ieee.org), [Online]. '*Self-Driving Cars Will Be Ready Before Our Laws Are*'. URL: <https://spectrum.ieee.org/selfdriving-cars-will-be-ready-before-our-laws-are>. (Zugriff am: 01.06.2022).

- [63] Automotive News. Website: [www.autonews.com](http://www.autonews.com), [Online]. '*Audi quits bid to give A8 Level 3 autonomy*'. URL: <https://www.autonews.com/cars-concepts/audi-quits-bid-give-a8-level-3-autonomy>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [64] United Nations Economic Commission for Europe. „UN Regulation No. 79 - Rev.4 - Amend.3“. In: (2021). URL: <https://unece.org/transport/documents/2021/02/standards/un-regulation-no-79-rev4-amend3>.
- [65] Bundesministerium für Digitales und Verkehr Deutschland. „Gesetzesentwurf der Bundesregierung - Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren“. In: (2021). URL: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile).
- [66] Wired. Website: [www.wired.com](http://www.wired.com), [Online]. '*Turns Out the Hardware in Self-Driving Cars Is Pretty Cheap*'. URL: <https://www.wired.com/2015/04/cost-of-sensors-autonomous-cars/>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [67] Tyborski, R. - Handelsblatt. Website: [www.handelsblatt.com](http://www.handelsblatt.com), [Online]. '*Diese Sensoren verhelfen dem autonomen Fahren zum Durchbruch*'. URL: <https://www.handelsblatt.com/technik/digitale-revolution/digitale-revolution-diese-sensoren-verhelfen-dem-autonomen-fahren-zum-durchbruch-/26942726.html>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [68] Merck KGaA, Darmstadt, Germany. Website: [www.emdgroup.com](http://www.emdgroup.com), [Online]. '*Autonomous driving with LiDAR technology*'. URL: <https://www.emdgroup.com/en/the-future-transformation/lidar-technology.html>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [69] Grave, R. - Heise. Website: [www.heise.de](http://www.heise.de), [Online]. '*Die Fahrzeugarchitektur des autonomen Fahrens*'. URL: <https://www.heise.de/ratgeber/Die-Fahrzeugarchitektur-des-autonomen-Fahrens-3568991.html>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [70] Gomoll, W. - Focus, Website: [www.focus.de](http://www.focus.de), [Online]. '*Steuergeräte und Kameras: Zulieferer machen Autobauern Konkurrenz*'. URL: [https://www.focus.de/auto/elektroauto/zf-proai-robothink-harte-neue-welt\\_id\\_10150400.html](https://www.focus.de/auto/elektroauto/zf-proai-robothink-harte-neue-welt_id_10150400.html). (Zugriff am: 01.07.2022).
- [71] [Online] Accenture. Website: [www.accenture.com](http://www.accenture.com). „Rebooting Autonomous Driving“. In: (2021). URL: [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-169/Accenture-Rebooting-Autonomous-Driving.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-169/Accenture-Rebooting-Autonomous-Driving.pdf).

- [72] Mercedes-Benz Group AG. Website: [group.mercedes-benz.com](https://group.mercedes-benz.com), [Online]. '*Vorreiter bei automatisierten Fahr- und Sicherheitstechnologien*'. URL: <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot.html>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [73] Honda Austria Branch of Honda Motor Europe Ltd. Website: [www.honda.at](http://www.honda.at), [Online]. '*Honda startet das Honda SENSING Elite Sicherheitssystem der nächsten Generation mit Level 3 Autonomes Fahren Funktionalität*'. URL: <https://www.honda.at/cars/world-of-honda/news-events/2021-03-04-honda-startet-das-honda-sensing-elite-sicherheitssystem.html>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [74] Proff, H.; Pottebaum, T.; Wolf, P. - Deloitte. „'Autonomous Driving - Moonshot Project with Quantum Leap from Hardware to Software & AI Focus'“. In: (2019). URL: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/POV\\_Autonomous-Driving\\_Deloitte.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/POV_Autonomous-Driving_Deloitte.pdf).
- [75] Business Wire. Website: [www.businesswire.com](http://www.businesswire.com), [Online]. '*A New IDC Forecast Shows How Vehicles Will Gradually Incorporate the Technologies that Lead to Autonomy*'. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20200928005080/en/A-New-IDC-Forecast-Shows-How-Vehicles-Will-Gradually-Incorporate-the-Technologies-that-Lead-to-Autonomy>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [76] Strategy& - Part of the PwC Network. „'Digital Auto Report 2021 - Volume 1 - Accelerating towards the "new normal"'“. In: *Digital Auto Report 2021* (2021). URL: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/digital-auto-report-2021/strategyand-digital-auto-report-2021-vol1.pdf>.
- [77] McKinsey & Company. Website: [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com), [Online]. '*Distraction or disruption? Autonomous trucks gain ground in US logistics*'. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/distraction-or-disruption-autonomous-trucks-gain-ground-in-us-logistics>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [78] Statista. Website: [www.statista.com](http://www.statista.com), [Online]. '*Global tractor sales from 2019 to 2029, by segment*'. URL: <https://www.statista.com/statistics/1228264/tractor-sales-worldwide-segment/>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [79] OEM Off Highway. Website: [www.oemoffhighway.com](http://www.oemoffhighway.com), [Online]. '*Global Tractor Market Conditions Varied by Country in 2018*'. URL: <https://www.oemoffhighway.com/market-analysis/industry-news/agriculture/news/21076223/global-tractor-market-conditions-varied-by-country-in-2018>. (Zugriff am: 01.06.2022).

- [80] Ag Equipment Intelligence. Website: [www.agequipmentintelligence.com](http://www.agequipmentintelligence.com), [Online]. *'Worldwide Tractor Sales Grew 13% in 2017'*. URL: <https://www.agequipmentintelligence.com/articles/1897-worldwide-tractor-sales-grew-13-in-2017?v=preview>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [81] CEMA aisbl - European Agricultural Machinery Industry Association. Website: [www.cema-agri.org](http://www.cema-agri.org), [Online]. *'Stable year for tractor registrations in 2019'*. URL: <https://www.cema-agri.org/market-trends/market-data/622-stable-year-for-tractor-registrations-in-2020-2>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [82] Economic Times - India Times - Auto. Website: [auto.economictimes.indiatimes.com](http://auto.economictimes.indiatimes.com), [Online]. *'Higher HP tractors continue to fascinate farmers and why!'* URL: <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/automotive/farm-equipment/higher-hp-tractors-continue-to-fascinate-farmers-and-why/79471224?redirect=1>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [83] European Parliament. „REGULATION (EU) 2016/1628 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery, amending Regulations (EU) No 1024/2012 and (EU) No 167/2013, and amending and repealing Directive 97/68/EC“. In: *Official Journal of the European Union* (2016). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628>.
- [84] ecomento UG. Website: [ecomento.de](http://ecomento.de), [Online]. *'John-Deere-Experte: E-Traktoren „dauern noch eine ganze Weile“'*. URL: <https://ecomento.de/2020/04/02/john-deere-experte-e-traktoren-dauern-noch-eine-ganze-weile>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [85] Fendt. Website: [www.fendt.com](http://www.fendt.com), [Online]. *Fendt e100 Vario. Unser Antrieb für die Zukunft*. URL: <https://www.fendt.com/at/e100-vario>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [86] Deutz AG. Website: [www.deutz.com](http://www.deutz.com), [Online]. *'Der Wasserstoffmotor von Deutz ist reif für den Markt'*. URL: <https://www.deutz.com/media/pressemitteilungen/der-wasserstoffmotor-von-deutz-ist-reif-fuer-den-markt>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [87] New Holland. Website: [www.technikboerse.com](http://www.technikboerse.com), [Online]. *'WASSERSTOFFBETRIEBENER NH 2-TRAKTOR UND ENERGIEUNABHÄNGIGER BETRIEB EINE EINFACHERE, SICHERERE UND SAUBERERE ZUKUNFT - IN GREIFBARER NÄHE'*. URL: [https://www.technikboerse.com/media/brochures/NH2\\_Traktor-1296037427.pdf](https://www.technikboerse.com/media/brochures/NH2_Traktor-1296037427.pdf). (Zugriff am: 01.07.2022).

- [88] Gronauer, A.; et. al. - BOKU - Institut für Landtechnik, Website: boku.ac.at, [Online]. „Smart Farming Technologies im Zeitalter der Digitalisierung“. In: (2020). URL: [https://boku.ac.at/fileadmin/data/H05000/H13000/Kooperation\\_BOKU-U/BOKU\\_4\\_20\\_SPEZIAL\\_StratKoopBOKUU.pdf](https://boku.ac.at/fileadmin/data/H05000/H13000/Kooperation_BOKU-U/BOKU_4_20_SPEZIAL_StratKoopBOKUU.pdf).
- [89] 1e9. Website: 1e9.community, [Online]. *'Landwirtschaftsroboter: Mit Künstlicher Intelligenz, Robotik und Lasern für eine nachhaltigere Landwirtschaft'*. URL: <https://1e9.community/t/landwirtschaftsroboter-mit-kuenstlicher-intelligenz-robotik-und-lasern-fuer-eine-nachhaltigere-landwirtschaft/17199>. (Zugriff am: 01.06.2022).
- [90] Insight from Infineum International Limited. Website: www.infineuminsight.com, [Online]. *'Motorcycle sales on the up -Growing popularity of two wheels for fun and commuting'*. URL: <https://www.infineuminsight.com/en-gb/articles/small-engines/motorcycle-sales-on-the-up/>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [91] Statista. Website: www.statista.com, [Online]. *'Mobility Markets - Motorcycles'*. URL: <https://www.statista.com/outlook/mmo/motorcycles/worldwide#unit-sales>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [92] ACEM - European Association of Motorcycle Manufacturers. Website: www.acem.eu, [Online]. *'Market data'*. URL: <https://www.acem.eu/market-data>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [93] Harley-Davidson. Website: www.harley-davidson.com, [Online]. *'Elektromotorräder - Livewire'*. URL: <https://www.harley-davidson.com/at/de/motorcycles/2021/livewire.html>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [94] Australian Motorcycle News. Website: amcn.com.au, [Online]. *'KAWASAKI LAYS OUT ITS FUTURE | MANUFACTURER NEWS'*. URL: <https://amcn.com.au/editorial/kawasaki-lays-out-its-future/>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [95] 1000PS.at. Website: www.1000ps.at, [Online]. *'Kawasaki baut Elektro- und Wasserstoffmotorräder! Bis 2025 kommen 10 Elektro- oder Hybridmotorräder von Kawasaki'*. URL: <https://www.1000ps.at/modellnews-3008569-kawasaki-baut-elektro-und-wasserstoffmotorraeder>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [96] Topspeed. Website: www.topspeed.com, [Online]. *'Suzuki S Burgman Fuel Cell launched in real world trials'*. URL: <https://www.topspeed.com/motorcycles/motorcycle-news/suzuki-s-burgman-fuel-cell-launched-in-real-world-trials-ar177483.html>. (Zugriff am: 01.07.2022).

- [97] Visordown. Website: [www.visordown.com](http://www.visordown.com), [Online]. '*Japanese Big Four' outline electric motorcycle collaboration project*'. URL: <https://www.visordown.com/news/industry/%E2%80%98japanese-big-four%E2%80%99-outline-electric-motorcycle-collaboration-project>. (Zugriff am: 01.07.2022).
- [98] Kymco. Website: [kymcousa.com](http://kymcousa.com), [Online]. '*LiveWire's merger includes partnership with Harley-Davidson, KYMCO*'. URL: <https://kymcousa.com/kymco-the-strategic-partner-of-harley-davidson/>. (Zugriff am: 01.07.2022).